THE EDGES OF SCIENCE



حافة العلم

عبور الحد من الفيزياء [الفيزيقا] إلى الميتافيزيقا

تأليف : ريتشارد موريس

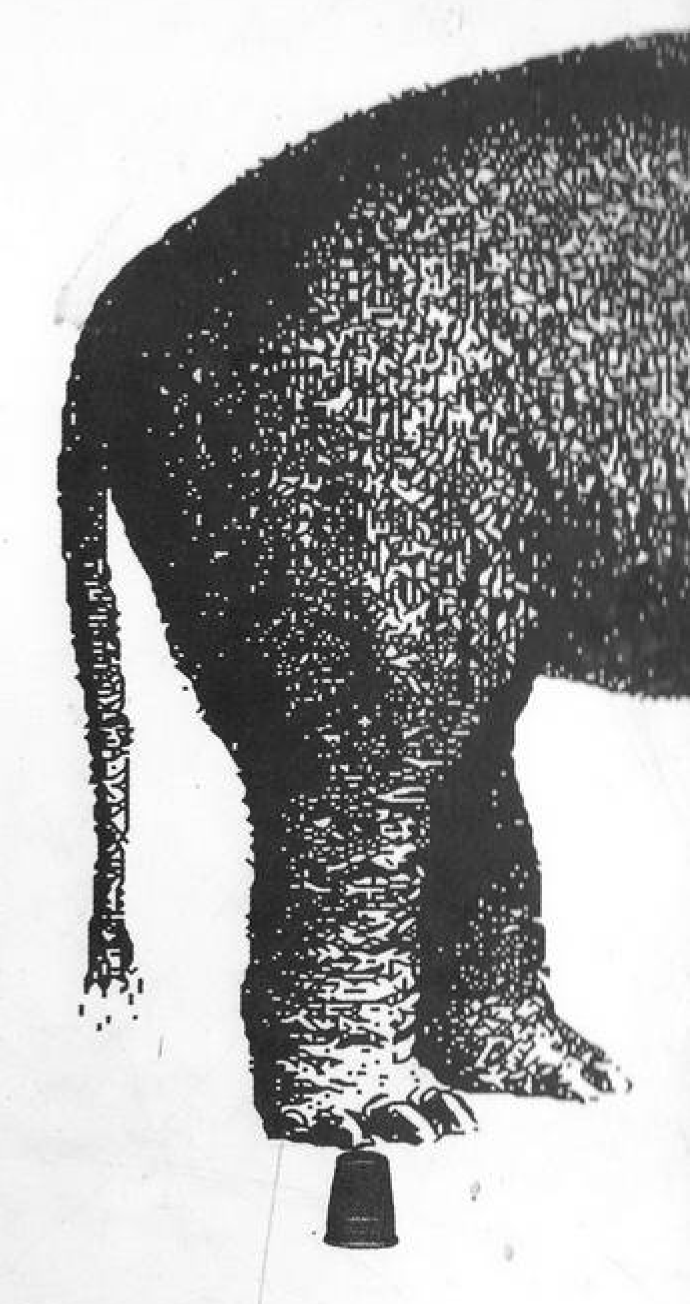
ترجمة : د. مصطفى ابراهيم فهمي

CROSSING THE BOUNDARY FROM PHYSICS TO METAPHYSICS



الغلاف : علي الجاك سعيد

THE EDGES OF SCIENCE





المجمع الثقافي

ابوظبي - ص . ب . ٢٣٨٠ - هاتف: ٢١٥٣٠٠ - دولة الامارات العربية المتحدة

CULTURAL FOUNDATION - ABU DHABI- P.O BOX: 2380 - TEL. 215300 - U.A.E.

مقدمة المترجم

منذ ظهر الإنسان في الكون وهو يفكر دائماً محاولاً الوصول إلى الإجابة عن الأسئلة التي تحيره بشأن هذا الكون، كيف بدأ وكيف يسير وإلى أين المصير؟ وتوالت إجابات الأجيال المتتالية عن هذه الأسئلة لتتطور من الأساطير الساذجة إلى المذاهب الفلسفية والقوانين العلمية. وفي مرحلة ما كان هناك الكثير من التداخل بين الفلسفة والعلم، وأرسطو وابن سينا وبيكون كل منهم فيه مثال واضح للفيلسوف العالم.

ومع ظهور العلم بمعناه ومنهجه الحديث في القرون المعدودة الأخيرة، أخذ العلم يتميز عن الفلسفة، حتى أصبح لكل منهما مجال بحثه ومنهجه المنفصل. وأصبح العلم يعتمد تماماً على التجربة التي هي المحك لإثبات النظرية أو تفنيدها، بينما تقتصر الفلسفة على كونها تأملات وتخمينات نظرية لا أكثر. وقد حدث في السنوات الأخيرة من القرن العشرين تقدم هائل في الأبحاث التي تتناول نشأة الكون ومكوناته، وتركز ذلك بأكثر في علمين هما علم الكونيات الذي يتناول أجرام الكون الكبرى من مجرات ونجوم وكواكب، وعلم فيزياء الجسيمات الذي يتناول جسيمات الكون الصغرى التي تتكون منها الذرة. والعلمان متصلان لأن الجسيمات الدقيقة هي في النهاية ما يكوّن كل شيء بما فيه الأجرام الكبيرة. وقد ترتب على التقدم الهائل في هذين العلمين سرعة ظهور النظريات والقوانين العلمية

الكثيرة، ثم ما لبث أن طغى أخيراً اتجاه لاختزال هذه النظريات ومحاولة إيجاد نظريات تفسر كل الفيزياء وكل العلم بقانون واحد موحد. وتواتر ظهور النظريات التي تحاول ذلك بسرعة هي أكبر كثيراً من القدرة الحالية للتجارب والأجهزة على ملاحقة هذه النظريات بالإثبات أو التفنيد. وبكلمات أخرى فإن النظرية أصبحت تسبق التجربة كثيراً أو تسبق قدرتنا على التجريب. وإلى أن يتم إعدادد الآلات القادرة على تجربة هذه النظريات فإنها ستظل لا تعدو أن تكون من باب النظر بالتخمين أو من باب التأمل النظري. فهل يعود الأمر بعلم الفيزياء أو الفيزيقا إلى أن يصبح أشبه بالفلسفة أو الميتافيزيقا؟.

يتناول الكتاب هذه المسائل بأسلوب سلس مع عرض شيق مبسط لأحدث النظريات في علم الكونيات وعلم فيزياء الجسيمات، ثم يتناول المشاكل التي ظهرت بشأن هذه النظريات الحديثة، ومحاولة العلماء أن يتغلبوا على هذه المشاكل بإنشاء نظريات أحدث قد يبدو أنها تنحو بأكثر لأن تكون من باب النظر بالتخمين. ولكن من قال إن العلم ليس فيه نظر بالتخمين؟ على أن هناك شروطاً محددة تفرق حتى ما بين ما يمكن أن يوصف بأنه تخمين علمي وبين ما هو مجرد تأمل فلسفي.

والكتاب موجه أساساً للقارئ غير المتخصص ليتيح بين يديه في إيجاز وبساطة أحدث ما يتناوله العلماء من نظريات علمية وما يقابلونه من مشاكل وكيف يفكرون ويحاولون التغلب عليها. وهو بهذا كتاب موجه في الحقيقة لكل من يحيا في عصرنا، عصر العلم.

المترجم

د. مصطفى ابراهيم فهمي

شكر

أود أن أشكر رولف سنكلير بالمؤسسة القومية للعلم لإرساله الأشرطة الصوتية لندوة «حافة العلم» التي عقدت في اجتماع للجمعية الأمريكية لتقدم العلم في ١٩٨٨.

وبالإضافة، فإني أود أن أشكر العلماء الآتية أسماؤهم لما أرسلوه من نسخ لأوراق بحوثهم بعد أو قبل طبعها، أو لأنهم ناقشوا معي أعمالهم، وهم:

هانز ديملت، وجوناثان دروفان ودافيد ن. شرام، وسيدني كولمان، وادوين ل. تيرنر، وجيمس ب. هارتل، وهيرون سبينراد، وجاي م. باسكوف، وبرنارد سادولت، وبلاس كابريرا.

المؤلف

المحتويات

مقدمة للطبعة البريطانية

كتبت هذا الكتاب لأني أردت أن آخذ القارئ في رحلة إلى حواف وتخوم العلم. وأردت أن أصف له الاكتشافات الحديثة في بعض من المجالات العلمية بعينها التي تتقدم سريعاً، وأن أناقش بعض ما يشغل تفكير العلماء الذين ينشدون التقدم حتى لما هو أبعد.

وليس من السهل أن يلاحق المرء كل ما يحدث. فأثناء قيامي بالمراجعات النهائية لمخطوطة الكتاب، حدث تدفق من الاكتشافات الجديدة. وتم إعلان اكتشافات أخرى جديدة بعد أن أرسلت الكتاب لناشري الأمريكي، ووجدت نفسي أضيف مواد جديدة خلال عملية الطبع.

وأثناء كتابتي لهذا يكون قد مر ما يزيد قليلاً عن السنة منذ أن نشر هذا الكتاب في الولايات المتحدة. وقد يظن المرء أنه قد تم أثناء ذلك تسجيل عدد من النتائج الجديدة المثيرة.

على أنه مما يثير الدهشة إلى حد ما أن الحال لم تكن هكذا. والحقيقة أنها كانت هناك فترة من النشاط المحموم ما لبثت أن تبعتها فترة من نوع من الهدوء.

ولست أعني هنا التلميح بأن البحث في المواضيع التي أناقشها قد وصل إلى حالة توقف. فهو بكل تأكيد لم يصل إلى ذلك. ومازالت المشاهدات ترصد، والتجارب تجرى، وأوراق البحث تنشر في المجلات العلمية. وإنما الأمر فقط أنه لم تكن هناك فورات نظرية في العام الأخير، ولم تكن هناك اكتشافات جديدة ذات دلالات تهز الأرض.

ولكن رغم هذا، إلا أن ثمة أسراراً علمية معينة قد زادت غوراً خاصة تلك التي تختص بطبيعة الكون.

النظرية والتجربة:

قبل أن أناقش طبيعة هذه الأسرار، سيكون من الضروري طرح بعض ملحوظات كمدخل. فلعله ينبغي علي أولاً أن أبين أنني عندما أتحدث عن «حواف» العلم، فإني أركز بما يكاد يكون تركيزاً كلياً على البحث في مجالين: هما علم الكونيات وعلم فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية. وأعتقد أن أسباب ذلك واضحة. فهذان المجالان العلميان ليسا فقط أسرع ما يتقدم في المجالات العلمية في الوقت الحالي، وإنما أيضاً مجالان أساسيان جداً. والعلماء الذين يعملون في هذين المجالين يجهدون لفهم طبيعة الواقع الفيزيائي. وعلماء الكونيات يحاولون فهم طبيعة الكون، بينما علماء فيزياء الجسيمات يحاولون اكتشاف أسرار الطبيعة الجوهرية للطاقة والمادة.

وفي السنوات الأخيرة طرأت على البحوث التي تجرى في منطقة التخوم من العلم تغيرات ملحوظة. وعلى وجه التحديد، فإن ثمة ميلاً لأن تسبق النظرية التجربة وأخذ العلماء ينظرون ليخمنوا أفكاراً لا يمكن بعد اختبارها في المعمل. وفي بعض المجالات ذهب تخمين النظريات أماماً إلى مدى بعيد حتى أن العلماء يخشون من إن بعض الأفكار الجديدة لن يتم إخضاعها للفحص التجريبي إلا في وقت ما من القرن التالي.

وكنتيجة لذلك فإن بعض التخمينات العلمية قد أصبح لها حديثاً نزعة إلى اتخاذ سمة ميتافيزيقية (ولعله ينبغي عليّ هنا أن أبين أني أستخدم كلمة «ميتافيزيقي» بمعنى فلسفي، ولست واحداً من أولئك الأفراد المخدوعين الذين في مقدورهم رؤية أوجه للتوازي ما بين نظريات الفيزياء وبين الأفكار التي تصاحب الصوفية الشرقية). وسواء أكان هذا مفيداً أم ضاراً، فإن الفيزيائيين أصبحوا يعودون إلى أسئلة من ذلك النوع الذي لم يكن يسأله فيما سبق سوى الفلاسفة ذوي النزعة الميتافيزيقية. فهم يسألون كيف نشأ الكون، ويطرحون أسئلة عن طبيعة المكان والزمان، بل إن بعضهم يسأل عما إذا كان وجود الكون له علاقة ما بإمكاناته لأن ينشئ ملاحظين واعين*.

* يعني نشأة أفراد البشر حسب المبدأ الإنساني. (المترجم)

على أن النظر بالتخمين علمياً ليس تماماً من نفس نوع النظريات بالتخمين الذي قد يُشغل به الشخص غير المتخصص. وعلى سبيل المثال، فإن الفيزيائيين النظريين على بينة من أن هناك دائماً قيوداً معينة لذلك. ومهما كان «بعد المدى» الذي تصل إليه أفكارهم إلا أنها يجب أن تُجعل مقبولة علمياً، ويجب أن يتم التعبير عنها من خلال سياق النظريات الرياضية الموجودة. وإذا غامر المرء بالدخول إلى مناطق لم يسبق ارتيادها، فإن من الضروري الإبقاء على روابط تربط بالعالم المعروف.

على أنه يحدث أحياناً أن تصبح هذه الروابط جد ضعيفة. وهي الآن في التّو ضعيفة على وجه الخصوص. وحتى يصبح من الممكن تقويتها، فإنه سيكون من الضروري الحصول على مزيد من المعطيات التجريبية. فالنظرية قد تحركت أماماً بسرعة هائلة، ويجب الآن إعطاء الفرصة للتجربة حتى تلحق بها.

سر طبيعة المادة:

كما بينت في الفصل الخامس، فإن هناك سبباً للاعتقاد بأن الوضع في مجال فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية سوف يتعرض سريعاً لتغير عنيف. وفي خلال سنوات معدودة، سوف يمكن تشغيل جهاز جديد لتعجيل الجسيمات له قوة هائلة. وقد سمي بالمعجل فائق التوصيل والاصطدام أو إس إس سي (SSC) Superconducting Supercollider، وسيبلغ قطره ٥٣ ميلاً. وعند تشغيله فإنه سوف يستهلك ٣٠ مليون وات من الطاقة، وسوف يمكّن العلماء من سبر طبيعة المادة بعمق يصل إلى مناطق هي أصغر بمئات آلاف المرات من قطر البروتون.

وما أن تتاح الفرصة للعلماء لإجراء تجارب على جهاز إس إس سي فإنه سينتج عنه فيما يحتمل سلسلة من الاكتشافات الجديدة. وقد بين علماء الفيزياء النظرية أن ثمة أسباباً معقولة تدعو إلى الإيمان بوجود حشد الأصناف المختلفة من الجسيمات تحت الذرية التي لم تكتشف بعد. وهذه الجسيمات لم تتم رؤيتها لأن المعجلات الحالية هي ببساطة ليست بالقوة الكافية للكشف عنها.

هذا وبالفعل قد وضع تخطيط للتجارب. وإذا تم رصد الجسيمات الجديدة، فإن الأفكار السائدة الآن عن طبيعة المادة سيتم تأكيدها، فيستطيع العلماء المنظرون البدء في التفكير في اتخاذ الخطوة التالية أماماً. وحتى إذا لم تتم رؤية الجسيمات فسوف

يكون ثمة مكسب من ذلك بالنسبة للمعرفة العلمية. وسوف يعرف العلماء أن من الضروري إما تغيير النظريات الموجودة، وإما البحث عن نظريات جديدة. وسوف يصبحون مشغولين بخاصة لو حدث أن اكتشفوا جسيمات لم يكونوا يتوقعونها، الأمر الذي حدث في مرات كثيرة من قبل في تاريخ الفيزياء.

سر طبيعة الكون:

إذا كان علماء فيزياء الجسيمات يتطلعون إلى المستقبل في توقع للأحداث، فإن الوضع الحالي في مجال علم الكونيات يمكن أن يوصف بأنه وضع «مشوش». فخلال العام الماضي أو ما يقرب من ذلك، لم يحدث إلا تقدم قليل في سبيل حل بعض ألغاز علمية معينة محيرة. وعلى العكس، فإن الأسرار زادت غوراً.

وأحد هذه الأسرار يتعلق بحقيقة أن العلماء مازالوا لا يعرفون بعد مما قد صنع الكون. وقد لاحظ علماء الفلك أن ثمة شيئاً ما هناك يمارس شداً جاذبياً على النجوم والمجرات. وبالإضافة إلى ذلك فإن هناك قدراً كبيراً من ذلك «الشيء» الغامض؛ فهو موجود بمقدار أكبر كثيراً مما هو موجود من المادة المعتادة، أي ذلك النوع من المادة التي تتجمع في نجوم ومجرات. نعم، إن هناك اسماً لتلك الخامة الغريبة التي أتكلم عنها فهي تسمى المادة المظلمة. وهي قد أعطيت هذا الاسم لأنها لا تبث ضوءاً. على أنه ينبغي ألا نستنتج من ذلك أنها قاتمة في لونها. فهي ليست كذلك، وهي في الحقيقة غير مرئية بالمرة.

ومن الجائز أن المادة المظلمة قد تكون مصنوعة من سحب كثيفة من بعض نوع جديد غريب من الجسيمات تحت الذرية. ولو تم حقاً الكشف عن جسيمات جديدة في التجارب التي ستجري على معجل اس اس سي فربما سيحدث أن تتحرك خطوة تقريباً من فهم طبيعة المادة المظلمة أيضاً. على أنه من المؤكد غالباً أن ستظل هناك أسرار عميقة باقية.

والمشكلة المحيرة بأكثر من هذه المشاكل هي مشكلة تكون المجرات. والمجرات مجموعات هائلة من النجوم. ومجرتنا، أي مجرة درب التبانة، تحوي حوالي مائة ألف مليون نجم. وتوجد مجرات اهليلجية عملاقة تحوي ملايين الملايين من النجوم. والمجرات هي أكثر ملامح الكون أهمية. وعندما يرصد علماء الفلك أعماق الفضاء

بالتليسكوبات القوية، فإنهم لا يكادون يرون شيئاً سوى مجرات من أشكال وأحجام مختلفة.

ومع هذا فإنه حسب النظريات السائدة المقبولة، فإن المجرات ينبغي ألا توجد. والمشكلة هي كالتالي: لقد قرر علماء الفلك أن المجرات قد تكونت خلال آلاف معدودة من ملايين السنين بعد الانفجار الكبير الذي يحدد نشأة الكون. وبلغة علم الكونيات فإن هذا زمن قصير جداً. ولا أحد يفهم حقاً كيف أمكن أن تتم نشأة المجرات سريعاً هكذا. وثمة نظريات عديدة مختلفة تم طرحها. ولسوء الحظ فإنه يبدو أن هناك أخطاء في كل هذه النظريات.

وأكثر هذه النظريات نجاحاً حتى الآن - أو على الأقل النظرية التي جذبت إليها أعظم عدد من المؤيدين - هي نظرية «المادة المظلمة الباردة»، التي تم توصيفها في الفصل السادس. على أنه أثناء كتابتي لهذا، توصل العلماء بصورة أو بأخرى إلى الإجماع على أن هذه النظرية سيلزم نبذها. والمشكلة هي أنه كلما رصد علماء الفلك مشاهدات أكثر، فإن فترة تكوين المجرات تدفع وراء إلى أزمنة أكثر وأكثر تبكيراً. وفي كل مرة يحدث فيها هذا، تصبح نظرية المادة المظلمة الباردة نظرية تقل قدرتنا على الدفاع عنها بعض الشيء. وفي أول الأمر بدا وكأن فكرة تكوين المجرات مبكراً هي فحسب مما يتوافق بالكاد مع النظرية. أما الآن فإنها لا تتوافق بالمرة.

ولم تتمكن أي نظرية مما سأناقشه في هذا الكتاب من أن تجمع حولها قدراً كبيراً من التأييد.

وبعض هذه النظريات فيها مشاكل أشد خطورة من المشاكل التي تصاحب نظرية المادة المظلمة الباردة. وبعض النظريات الأخرى لا تبدو من غير المعقول، ولكنها ليست مدعومة بأي برهان من التجارب أو المشاهدات. ويبدو في الوقت الحالي أنه يمكن للمرء أن يقول أن الكون يبدو مصنوعاً في غالبه من المجرات، ولكن أحداً لا يعرف من أين أتت هذه المجرات.

نعم، الانفجار الكبير قد حدث.

المواضيع العلمية هي أحياناً مما لا يتم تحريره في وسائل الإعلام العامة بصورة جد دقيقة. والحقيقة أني لا أقول هذا من باب النقد. وعلى كل، فإنه يحدث أحياناً عند إعلان أفكار علمية جديدة أن يسيء العلماء أنفسهم تفسير بعضهم للبعض. وإذن فلن يكون من المدهش حقاً أن نكتشف أن المحققين الصحفيين الذين يجرون المقابلات مع العلماء يمكن أحياناً إدانتهم بتهم عدم الدقة.

وأنا أثير هذه النقطة لأنني قد لاحظت قدراً معيناً من البلبلة في التحقيقات التي ظهرت عن هذه الموضوعات في وسائل الإعلام. وبالتحديد، فإن الصعوبات بشأن نظرية المادة المظلمة الباردة تسجل أحياناً على أنها مشاكل في نظرية الانفجار الكبير نفسها.

وأود إذن أن أؤكد على أن البرهان على أن الكون قد بدأ بانفجار كبير منذ ما يقرب من خمسة عشر ألف مليون سنة، مازال يبدو برهاناً ساحقاً. ومن المؤكد أن الأفكار العلمية هي مما يتغير فعلاً، وكثيراً ما تنبذ النظريات. وليس مما لا يقبل التصور أن هذا قد يحدث في النهاية لنظرية الانفجار الكبير. على أنه لا يوجد إلا قلة من العلماء يؤمنون بأن هذا مما يحتمل أن يحدث في أي وقت عاجل، هذا إن كان سيحدث على الإطلاق. ومازال البرهان على وجود انفجار كبير يبدو برهاناً جد مقنع.

والمشكلة وحسب هي أن نظرية الانفجار الكبير لا تتوافق بسهولة مع ظاهرة تكوين المجرات. وليست هذه مشكلة بسيطة. والحقيقة أنه قد يكون من الشيق أن نبين في هذا السياق أنه لو كانت المجرات غير موجودة (كما تقول النظرية بأنها ينبغي ألا توجد!)، فإننا فيما يحتمل ما كنا لنوجد هنا. فنحن رغم كل شيء نعيش في كوكب يدور من حول نجم. وبمدى ما يعرفه العلماء، فإن النجوم لا تنشأ إلا في مجرات، وليس في تلك المناطق الممتدة الباردة المعادية التي تشغل الفضاء ما بين المجرات.

1

علم الفيزياء وعلم الكونيات اليوم

[1]

طبيعة المادة

كثيراً ما يتكلم العلماء عمّا للطبيعة من «بساطة» أساسية. والغالبية العظمى من العلماء يعتقدون أن الكون الذي نعيش فيه قد بُني بحسب مبادئ بسيطة. ورغم أن الظواهر الفيزيائية التي يرصدها العلماء كثيراً ما تكون بالغة التعقيد، إلا أنهم يفترضون على نحو ثابت أن القوانين الأساسية للطبيعة ليست كذلك.

وليس من الأمور الواضحة وضوحاً مباشراً أن الطبيعة هي حقاً بسيطة مثلما يحب العلماء أن يعتقدوا، بل أن من الممكن حقاً أن نجادل بأن هذه الفكرة هي نوع من الأحكام الفلسفية المسبقة. ومع ذلك، فإن فكرة البساطة ليست شيئاً يمكن إثباته أو دحضه، إنها مُسلّمة ميتافيزيقية. ورغم أنه يمكن إجراء تجارب تختبر التنبؤات التي يتنبأ أي نوع بها تقريباً من النظريات العلمية، إلا أن أحداً لم يبتكر قط تجربة تبينا بأن الطبيعة هي أساساً «بسيطة» أو «معقدة» بل أن هذه الأفكار ليست في الحقيقة مما يسهل تحديده. ويبدو أن مسلمة «البساطة» هي مما يجب قبوله على وجه الإيمان.

والحقيقة أنه يمكن لمن يكون متشككاً أن يجادل بأن الطبيعة ليست هي البسيطة، وإنما البسيط هو العقل البشري. ومثل هذا المتشكك يمكنه أيضاً أن يزعم أن السبب الوحيد في أن العلماء يحاولون اكتشاف قوانين «بسيطة» هو أنهم لن يمكنهم أن يستوعبوا المبادئ المعقدة حقاً. وحسب هذا الرأي، فإن النظريات العلمية لا توصف الطبيعة كما تكون حقاً، وإنما هذه النظريات هي بدلاً من ذلك توصيفات تجريدية مبسطة لواقع بالغ التعقيد.

ورغم أن محاجة كهذه لا يمكن دحضها بسهولة، إلا أن المرء لا يسمع كثيراً أي تعبير من أفكار كهذه. والسبب واضح: وهو أن العلم ناجح جداً. وافتراض البساطة قد يكون أو لا يكون فكرة تثير الشك فلسفياً، ولكنه فيما يبدو فكرة مفيدة عند

إعمالها. فبطرح الفرض بأن الطبيعة تعمل حسب مبادئ بسيطة، أمكن للعلماء اكتساب بصيرة لها نفاذ ذو دلاله في أمور من مثل أصل الكون وتطوره، ومن مثل طبيعة القوى التي تعمل مفعولها على أشياء صغيرة كالإلكترون وكالمجرة، وفي أمور من مثل طبيعة المادة.

وبكلمات أخرى، فإن من الممكن تبرير مسلمة البساطة على اسس براجماتيه. ففكرة أن الطبيعة هى أساساً بسيطة قد أدت إلى النجاحات العلمية الواحد تلو الآخر. وهى أيضاً قد حفزت العلماء على أن يصبحوا متشككين إزاء نظريات تبين فيما بعد انها غير صحيحة. فالشك فى أن أفكاراً معينة هي «وحسب بالغة التعقيد» كثيراً ما أدت إلى تقدم الفهم العلمي.

وليس من الصعب العثور على أمثله لذلك. لقد كان من الواضح لجاليليو أن النظام الفلكي عند بطليموس، والذي بناء عليه تتبع الشمس والكواكب مدارات معقدة حول الأرض، هو نظام أكثر تعقيداً من أن يكون حقيقياً . وبالتالي فإنه ناصر النظام الكوبرنيكي الاكثر بساطه، والذي يضع الشمس لا الأرض في مركز المنظومة الشمسية.

ونحن عندما ننظر إلى محاولات العلماء لفهم طبيعة المادة نلاقي أمثلة أخرى عديدة لنبذ الأفكار المعقدة تأييداً لأفكار تبدو أبسط. وقد ثابر العلماء المرة بعد الأخرى على محاولة فهم المادة بلغة من عدد صغير من المكونات. ومع حدوث اكتشافات أخرى، فإن هذه المكونات تصبح بعدها أكثر عدداً. ثم تصل الأمور في النهاية إلى نقطة ينتشر عندها الإحساس بأن «الأمور لا يمكن أن تكون معقدة هكذا»، فيتم إنشاء نظرية جديدة أكثر بساطة.

وفي زمن الإغريق الكلاسيكيين، كان يبدو أن المادة ليست شيئاً جد معقد، وكمثل، فإنه حسب أرسطو، تكون كل الأشياء الأرضية مصنوعة من أربعة عناصر لا غير: التراب، والهواء، والنار، والماء. وهناك عنصر خامس، أي الأثير، وهو العنصر المكون للأجرام السماوية التي لا تقبل الفساد (أو أن هذا هو ما كان يعتقده أرسطو).

على أنه بحلول القرن السابع عشر، أصبح واضحاً أن هذا المخطط البسيط لم يعد صالحاً. فعدد المواد الأساسية التي أمكن العثور عليها على سطح الأرض كان أكثر

إلى حد هائل من أربعة مواد. ولو ظللنا نعرّف «العنصر» بأنه مادة لا يمكن تحليلها إلى مكونات أبسط، فإن العناصر لهي حقاً كثيرة.

وبحلول نهاية القرن التاسع عشر، كان العلماء قد اكتشفوا كل العناصر الاثنين والتسعين التي توجد طبيعياً. وقد وجد أن معظم هذه العناصر جوامد مثل الحديد والفضة والنيكل والبورون والكربون والكبريت، وبعضها هي غازات مثل الهيدروجين والأوكسجين والنيتروجين والكلور والنيون. وأخيراً فإن هناك عنصرين هما الزئبق والبروم يكونان سائلين في الظروف العادية من الحرارة والضغط.

ورغم ما في اكتشاف العناصر الكيميائية المختلفة من تقدم علمي، إلا أن الموقف الناتج عن ذلك لم يكن مما يرضي بأي حال. ففكرة أن هناك اثنين وتسعين نوعاً أساسياً من المادة، وليس أربعة لا غير، تجعل العالم يبدو معقداً تعقيداً غير ضروري. ولحسن الحظ فإن الأمور أصبحت بسيطة مرة أخرى عندما تمت اكتشافات جديدة هامة بواسطة الفيزيائيين البريطانيين ج. ج. تومسون، وأرنست روذرفورد، وجيمس شادويك. وقد اكتشف تومسون الإلكترون في ١٨٩٧ وتبع ذلك أن اكتشف روذرفورد البروتون في ١٩١٩. وعندما اكتشف شادويك النيوترون في ١٩٣٢، بدا أن فهم العلماء لطبيعة المادة قد اكتمل. فالذرات تتكون من نوى دقيقة تحيط بها إلكترونات تدور من حولها. والنوى بدورها تتألف من بروتونات ونيوترونات. وعلى كل، فإن العناصر الاثنين والتسعين ليست هي المكونات الأساسية للمادة. وبدلاً من ذلك فليس هناك إلا ثلاثة جسيمات ـ أو أن هذا ما كان العلماء يظنونه.

والهيدروجين مثلاً مصنوع من بروتون واحد وإلكترون واحد، وهو أبسط العناصر. والأوكسجين من الناحية الأخرى، هو أكثر تعقيداً: فالنواة لها ثمانية بروتونات، وثمانية نيوترونات، وتدور من حولها ثمانية إلكترونات. وذرة اليورانيوم أكثر من ذلك تعقيداً؛ فنواتها تحوي ٩٢ بروتوناً و١٤٦ نيوتروناً. وحيث إن البروتونات ذات الشحنة الموجبة ينبغي أن يتساوى عددها وعدد الإلكترونات ذات الشحنة السالبة حتى تصبح الذرة متعادلة كهربائياً، فإنه يترتب على ذلك أن ذرة اليورانيوم تحوي أيضاً ٩٢ إلكتروناً. وهكذا فإن هناك جسيمات يبلغ عددها كلها ٣٣٠ جسيماً؛ على أن كلاً منها هو واحد من ثلاثة أنواع أساسية.

تكاثر الجسيمات:

أصبح واضحاً في التو أن هذا التخطيط البسيط ليس وافياً. والحقيقة أنه عام ١٩٣٢، أي في السنة التي اكتشف فيها النيوترون، عثر الفيزيائي الأمريكي كارل أندرسون على جسيم جديد في الأشعة الكونية هو البوزيترون. والبوزيترون يشبه الإلكترون إلا أنه يحمل شحنة كهربائية موجبة بدلاً من الشحنة السالبة.

وسرعان ما اتضح السبب في أن البوزيترونات لم يتم اكتشافها قبل ذلك، فهي لا تستمر في الوجود لزمن جد طويل، وذلك بمجرد أن تلتقي بالمادة العادية. فبمجرد أن يلتقي البوزيترون بأحد الإلكترونات فإن أحدهما يبيد الآخر، وتظهر مكانهما أشعة جاما.

ولو تم اكتشاف البوزيترون في زمن حديث، لكان من المؤكد أن يطلق عليه الفيزيائيون اسم* «ضديد الإلكترون» ذلك أن البوزيترون هو الجسم الضديد للإلكترون. واليوم فإن سابقة ضديد anti هي دائماً جزء من اسم ضديد الجسيم. والبوزيترون هو الاستثناء الوحيد، حيث أنه حاز هذا الاسم منذ زمن جد طويل بحيث لم تحدث قط أي محاولة جادة لتغييره.

والعلماء يعرفون الآن أن كل جسيم يوجد له أيضاً ضديد جسيم. وهكذا فإن هناك بروتونات وضديدات البروتونات، ونيوترونات وضديدات النيوترونات. وبالطبع فإن كل الجسيمات التي سنلاقيها لها أيضاً زملاء من ضديدات الجسيمات: وكمثل، سوف أتكلم فيما بعد عن أشياء مثل ضديد النيوترينو وضديد الكوارك.

وبعض ضديدات الجسيمات يمكنها أن تبقى لفترات طويلة إذا حدث أن كانت تتحرك من خلال الفضاء، حيث كثافة المادة قليلة، والبوزيترون مثل جيد لذلك، أو هي تبقى طويلاً إذا ظلت محبوسة في الأجهزة في معامل الفيزيائيين حيث لا تلاقي إلا ضديدات الجسيمات الأخرى فحسب. وعلى كل، فإنه ما إن يلتقي جسيم وضديده حتى يبيد أحدهما الآخر تماماً مثلما يفعل الإلكترون والبوزيترون. وهذه العملية تصفها معادلة أينشتين المشهورة $E=mc^2$ أو: ط = ك س٢ حيث ط هي الطاقة، ك هي الكتلة، س هي سرعة الضوء. وبالوحدات المترية التي يستخدمها

* ضديد هو المصطلح الذي اختاره المجمع اللغوي المصري للتعبير عن الجسيم المضاد (المترجم)

العلماء، فإنه يمكن قياس الكتلة بالكيلوجرامات، بينما تعد سرعة الضوء ٣٠٠ مليون متر في الثانية. وفي هذه الحالة فإن الطاقة يعبر عنها بوحدات الجول. ويعرف الجول بأنه وات واحد لكل ثانية. وهو يساوي ما يقرب من جزء من أربعة آلاف من سعر الغذاء*. ورغم أن جولاً واحداً ليس بالمقدار الكبير جداً، إلا أن من الواضح أن قدراً عظيماً من الطاقة يمكن أن ينطلق عند إبادة المادة.

ومع كل، فإن س٢، أو مربع سرعة الضوء، هي ٩٠ مليون مليون**، وهذا رقم هائل.

وإذا كان يمكن تحويل المادة إلى طاقة عندما يلتقي جسيم وضديده أحدهما بالآخر، فإن المرء له أن يظن أنه يمكن حدوث العكس، أي أن المادة يمكن أن تتخلق من الطاقة. وهذا هو الحال فعلاً. فزوج الجسيم وضديده يمكن أن يتخلقا بهذا الأسلوب، وكمية الطاقة اللازمة لإنتاجهما هي بالطبع مساوية للكمية التي تنطلق عندما يباد هذا الزوج. وفيما يعرض، فإن الجسيمات وضديداتها تتخلق دائماً في أزواج. والإلكترون هو أو البوزيترون أو ضديد النيوترون أو أي جسيم آخر لا يمكن تخليقه وحده. وهناك أشياء كثيرة يمكن إضافتها عن سلوك الجسيمات وضديداتها، ولكن لعل من الأفضل أن نوفر ذكر ذلك لما بعد، وأن نعود للموضوع الذي نناقشه: وهو محاولات العلماء لتحديد طبيعة المكونات الأساسية للمادة.

وفي ١٩٣٦، أي بعد أربعة أعوام لا غير من اكتشاف البوزيترون، ما لبث كارل أندرسون أن اكتشف جسيماً جديداً آخر. وهذا الجسيم يشبه الإلكترون، ويحوز نفس شحنته السالبة، ولكنه أثقل منه ٢٠٧ أمثال. وقد سمي الجسيم الجديد في الأصل ميوميزون (ثم أعيد تصنيفه وأعيدت تسميته بأنه ميون) وميو هو أحد حروف الأبجدية الإغريقية. (وكثيراً ما يستخدم الفيزيائيون الحروف الإغريقية في

* مصطلح «السعر» Calorie له في الحقيقة معنيان مختلفان. فسعر الغذاء هو ما يسمى بالسعر الكبير (ويختصر بـ .Cal) وهو يساوي ١٠٠٠ «سعر صغير». والسعر الصغير يعرف بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية. نعم، إن الحياة تكون أبسط لو استخدمنا مصطلحين مختلفين.

** أو حتى نكون أكثر دقة، فإنها ٩٠ مليون مليون متر مربع في الثانية لكل ثانية.

المعادلات الرياضية، وهذا أحياناً يجعل هذه المعادلات تبدو أكثر غموضاً مما هي عليه في الحقيقة، وهم كثيراً ما يستخدمون الحروف الإغريقية لتسمية الجسيمات تحت الذرية) وميزون تأتي من كلمة إغريقية تعني «متوسط».

وكانت هذه إشارة إلى حقيقة أن الجسيم الجديد له كتلة أعظم كثيراً من كتلة الإلكترون ولكنها أقل كثيراً من كتلة البروتون أو النيوترون. وفيما يعرض، فإن البروتونات والنيوترونات تكاد تتساوى في كتلتها، فكلاهما له كتلة تقرب من أن تكون ١٨٠٠ مثلاً لكتلة الإلكترون.

وهكذا فإنه في ١٩٣٦ كان عدد الجسيمات الأولية قد زاد بالفعل من ثلاثة إلى خمسة، ليشمل الإلكترون، والبروتون، والنيوترون، والبوزيترون، والميون. وبالطبع فإن اكتشاف البوزيترون طرح أنه يمكن أن توجد أيضاً ضديدات جسيمات أخرى. وبالإضافة إلى ذلك، كان ثمة جسيم آخر مازال وجوده افتراضياً. ففي عام ١٩٣٠ بين الفيزيائي النمسوي ولفجانج باولي أن هناك ملامح محيرة لاضمحلالات إشعاعية يمكن تفسيرها لو كان يوجد جسيم يسمى النيوترينو. وعلى كل، فقد انتهى الأمر بألا يتم اكتشاف النيوترينو إلا في ١٩٥٦.

باريونات، ومزونات، ووحوش أخرى:

لو ثبت في النهاية أن قائمة الجسيمات الأساسية لا يزيد ما فيها من بنود عن خمسة أو ستة أو ثمانية أو عشرة بنود، لأمكن للفيزيائيين في الغالب أن يعتبروا أن هذه البنود تعد كلها أولية. ولسوء الحظ، فإنه بمرور السنين، زاد عدد الجسيمات المعروفة بما يتجاوز كل تفكير. وبحلول عام ١٩٦٠ كان قد تم اكتشاف عشرات من الجسيمات. وفي أوائل السبعينات وصل عدد الجسيمات «الأولية» التي تم للعلماء التجريبيين رؤيتها إلى المئات.

وبدا أن بعض هذه الجسيمات المعروفة بالباريونات تشبه النيوترون والبروتون، إلا أنها ذات كتلة أكبر. وبعضها أيضاً له شحنة كهربائية غير معتادة. ففي حين أن النيوترون متعادل كهربائياً والبروتون يحمل شحنة موجبة، فإن بعض الباريرنات لها شحنات سالبة مثل شحنة الإلكترون الذي هو أخف كثيراً منها، أو لها ضعف الشحنة الموجبة للبروتون.

وهناك أيضاً عدد كبير من الجسيمات تعرف بالميزونات. وبعض الميزونات، مثل ميزون باي (وباي حرف إغريقي آخر) أو البيون، هي نسبياً خفيفة. والبيون كتلته حوالي سُبع كتلة البروتون. وهناك ميزونات أخرى هي من الناحية الأخرى ثقيلة تماماً، فبعضها لها كتل أكبر بعدة أمثال من كتلة البروتون والنيوترون.

أما الجسيم الذي اكتشفه أندرسون في ١٩٣٦ فلم يعد يصنف مع الميزونات. فخواصه تختلف كثيراً عنها. وقد تبين العلماء الآن أن الميون إنما يشبه الإلكترون مشابهة أوثق. والحقيقة أن الميون يمكن أن يعد نوعاً من «إلكترون ثقيل».

وقد ابتكرت كلمة جديدة هي اللبتون (عن كلمة إغريقية تعني «الخفيف») لوصف الإلكترون، والميون وما يصاحبهما من جسيمات النيوترينو. وفي ١٩٦٢ ثبت أن جسيمات النيوترينو تأتي في صنفين مختلفين هما نيوترينو الإلكترون، ونيوترينو الميون. وهذان الجسيمان فيما يبدو ليسا متماثلين، وهما يساهمان في تفاعلات من أنواع مختلفة.

وفي ١٩٧٥ تم اكتشاف جسيم آخر مشابه للإلكترون، وهو جسيم التاو، أو التاون (تاو أيضاً حرف إغريقي آخر). وحتى وقت كتابتي لهذا، لم يتم بعد اكتشاف نيوترينو التاو، وإن كان يفترض أنه ولا بد موجود أيضاً، وسيكون من المدهش بالغ الدهشة لو ثبت في النهاية أن الإلكترونات والميونات لها جسيمات نيوترينو مصاحبة لها بينما التاو ليس له نيوترينو مصاحب.

وهكذا فإن عدد اللبتونات «المعروفة» يصل حالياً إلى ستة: الإلكترون، والميون، والتاو وثلاثة أنواع من النيوترينو. وبالطبع فإن هناك أيضاً ستة ضديدات جسيمات: البوزيترون، وضديد الميون، وضديد التاو، وثلاثة أنواع من ضديد النيوترينو. ومع كل، فحيث أن الجسيم وضديده يتشابهان كثيراً، فإن الفيزيائيين يتحدثون عموماً عن ستة لبتونات بدلاً من اثني عشر.

فالمادة إذن مصنوعة من باريونات، وميزونات، ولبتونات. ورغم أن هناك ستة لبتونات فقط، إلا أن كلاً من الصنفين الآخرين فيه أعضاء بالمئات. والأمر يبدو هكذا معقداً بأكثر مما يمكن تصديقه. وعلى الأقل، فإنه ما من فيزيائي ممن يؤمنون بأن الطبيعة هي أساساً بسيطة يستطيع فيما يمكن إقناع نفسه بأن الطبيعة لها مكونات أساسية بهذه الكثرة البالغة. وحتى تزيد الأمور سوءاً فإنه يبدو أن الكثير

من هذه الجسيمات التي يفترض أنها «أولية» لا تلعب أي دور مهم في تخطيط الأمور. فهي لو كانت غير موجودة، لظل العالم فيما حولنا يبدو كما هو بالضبط - أو كما هو بالنسبة لأي فرد فيما عدا الفيزيائيين التجريبيين.

وكمثل فإن الميون جسيم حياته قصيرة ويضمحل إلى الإلكترون ونيوترينو وضديد نيوترينو فيما يقرب من جزء من خمسمائة ألف من الثانية. ولو كانت الميونات غير موجودة، فإن خواص المادة العادية لن تتغير أقل تغيير.

وإذا كان وجود جسيمات «أولية» كثيرة هكذا يعقد من الأمور، فإن هذه الأمور زادت سوءاً بحقيقة أن الأغلبية العظمى من الجسيمات تضمحل بعد تخليقها إلى جسيمات أخرى خلال كسور صغيرة من الثانية. إلا أن الجسيمات التي تضمحل إليها ليست بمكونات أبسط للجسيم الأصلي. وقد اتضح ذلك من حقيقة أن الجسيمات لا تضمحل دائماً بنفس الطريقة. وكمثل، فإن البيون يمكن أن يضمحل إلى إلكترون ونيوترينو، أو إلى ميون ونيوترينو، أو حتى إلى بيون من نوع مختلف مصحوب بإلكترون ونيوترينو. ومن الواضح أن البيون الأصلي لا يكون مصنوعاً من كل هذه الأشياء المختلفة في نفس الوقت. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هناك أسباباً نظرية للاعتقاد بأن البيون ليس مركباً من جسيمات أخرى معروفة. فلا يبدو أن هناك أي طريقة يتم بها تقييد إلكترون أو نيوترينو من داخله.

الطريقة الثمانية:

تبين العلماء أنهم لو أرادوا أن يتقدموا تجاه الوصول إلى أي فهم حقيقي لطبيعة المادة، فإن من الضروري أن يجلبوا شيئاً من النظام إلى كل هذه الفوضى، على أنه بدا أن من السابق للأوان محاولة ابتكار نظرية تفسر سبب وجود هذا العدد الكثير من الجسيمات. فحتى ذلك الوقت كان لا يفهم إلا أقل القليل عن سلوك هذه الجسيمات. على أنه أمكن تصنيف الجسيمات وتجميعها معاً بأساليب طبيعية معينة. وعلى كل، فإن كل جسيم له مجموعة من الخصائص الفريدة. فهو له كتلته. وهو إما متعادل كهربائياً أو له شحنة موجبة أو سالبة. وبالإضافة، فإن كل جسيم أولي له خاصة تعرف باللّف. وثمة اختلافات معينة رهيفة بين لفّ الشيء في عالمنا اليومي الماكروسكوبي وبين لفّ الجسيمات تحت الذرية. ومع ذلك، فإن المفهومين

يتشابهان بما يكفي بحيث إنه ليس من غير المعقول أن نتصور الجسيمات الأولية على أنها أشياء تلفّ حول محورها مثل لعبة نحلة دقيقة.

وللجسيمات خواص أخرى أيضاً. وقد أعطيت لبعض هذه الخواص أسماء عجيبة مثل الغربة، وهناك خواص أخرى تلقت أسماء تبدو غامضة، وإن لم تكن كذلك حقيقة، مثل اللف النظيري isospin . والجسيمات «الغريبة» هي جسيمات تضمحل ببطء أشد كثيراً مما توقعه الفيزيائيون، بينما «اللف النظيري» هو ليس إلا طريقة محنكة لتوصيف الفارق بين النيوترونات والبروتونات، أو بين أزواج أخرى من الجسيمات تبدو أيضاً متشابهة جداً.

هكذا وُضع سكّان حديقة حيوان الجسيمات في مجموعات بيوت مختلفة مع تبويب خواصها ذات الدلالة. وما أن تم ذلك حتى أصبح في الإمكان اتخاذ الخطوة التالية. فقد أصبح من الممكن إخراج هذه الحيوانات من بيوتها ثانية وتجميعها معاً ببعض وسيلة منطقية. وكمثل، فإن المشرفين في حديقة الحيوان الحقيقية قد يلحظون أن الأسود والفهود هي كما يبدو أعضاء في عائلة واحدة، وأن هناك خصائص أخرى يبدو أنها تجعل حيوانات الشمبانزي والأورانجوتان تبدو مشابهة للرباح والقرود والغوريلا.

وهكذا أصبح ابتكار مخطط للتصنيف على هذا النحو مهمة جد واضحة بحيث لم يتأخر الفيزيائيون طويلاً لإنجازها. وقد تم ابتكار تخطيط كهذا في وقت مبكر يصل إلى عام ١٩٦١، وذلك عندما اكتشف الفيزيائي الأمريكي موراي جيل مان والفيزيائي الإسرائيلي يوفال نيمان، كل منهما مستقلاً عن الآخر، أن الباريونات والميزونات يمكن تجميعها في عائلات فرعية حسب طريقة طبيعية معينة، وقد عمّدها جيل مان باسم الطريقة الثمانية، وسرعان ما أثبت هذا المنهج نجاحه. وقد تنبأت الطريقة بوجود جسيمات أخرى كانت حتى وقتذاك غير معروفة، وسرعان ما عثر عليها العلماء التجريبيون.

واسم «الطريقة الثمانية» فيه نوع من التورية. وقد أعطى جيل مان هذا الاسم للنظرية لأن ثمة ميزونات وباريونات معينة تم رصدها مشتركة وتضعها النظرية معاً في مجموعات من ثمانية. وكان جيل مان متنبهاً أيضاً إلى أن الطريقة الثمانية الأصلية كانت برنامجاً قد ابتكره بوذا في حوالي القرن السادس قبل الميلاد للتوصل

إلى التنوير. وفيما يعرض، فإن هذه ليست التورية الأخيرة التي سنلاقيها في هذا الكتاب. ذلك أن التوريات هي وأساليب أخرى من التلاعب اللفظي تظهر طالعة بكثرة ملحوظة في الفيزياء المعاصرة. ومن الصعب معرفة السبب في أنه ينبغي أن تكون الحال هكذا ـ ولعل الفيزيائيين يحاولون إقناعنا بأنهم ليسوا دائماً بالرجال الصارمين بمثل ما يحسبه أحياناً عامة الجمهور.

والعلماء عندما يلاحظون وجود مشابهات بين أشياء معينة فإنهم لا يكتفون أبداً بذلك وحده، وإنما يريدون في التوّ معرفة السبب في وجود هذه المشابهات. وما إن ثبت أن الطريقة الثمانية لجيل مان ونيمان لها صلاحيتها، حتى أصبحت الخطوة التالية هي معرفة «سبب» ذلك. وبكلمات أخرى فقد أراد العلماء أن يكتشفوا ما هي الافتراضات التي ينبغي أن يطرحوها بشأن الجسيمات الأولية حتى يستنتجوا أنها تجمع أنفسها معاً على هذا المنوال.

وفي ١٩٦٤ بيّن جيل مان هو والفيزيائي الأمريكي جورج زويج، كل منهما مستقلاً عن الآخر، أنه يمكن تفسير الطريقة الثمانية إذا افترض المرء أن الباريونات والميزونات لها مكونات هي مما لا يشبه أي جسيمات معروفة من قبل. واقترح زويج أن تسمى هذه المكونات المفترضة «آسات» Aces . بينما سماها جيل مان كواركات. و«الكوارك» كلمة ألمانية تعني «تخثّر» أو «تجبّن» على أن جيل مان لم يكن يفكر في جبن الأكواخ عندما طرح هذا المصطلح. وإنما هو قد أخذ المصطلح من فقرة من رواية جيمس جويس «يقظة فنجان» تتعلق بجعل الملك مارك ديوثاً في أسطورة تريسترام وإيزولدا، وهي: «ثلاثة كواركات لجماعة مارك».

وكان هناك أيضاً ثلاثة كواركات في نظرية زويج وجيل مان. وسميت الكواركات بأنها علوية وسفلية وغريبة، وهكذا فإنها بدت قادرة على تفسير كل الميزونات والباريونات التي كان يعرف وقتها بوجودها. وكمثل فإن البروتون يتكون من كوارك واحد سفلي واثنين علويين، بينما البيون المشحون بشحنة موجبة (البيون يمكن أن تكون له شحنة موجبة أو سالبة، أو أن يكون كهربائياً متعادلاً) يتكون من كوارك علوي وضديد كوارك سفلي. وكما يتوقع المرء، فإن الكواركات لها أيضاً ضديدات جسيمات، والضديد السفلي هو الجسيم الضديد للكوارك السفلي.

وفيما يعرض، فإن التسمية «بعلوية» و«سفلية» ليس لها أي مغزى معين. فهي ليست إلا تسميات اعتباطية. وكان في وسع الفيزيائيين أيضاً بدلاً من أن يسموا هذين الجسيمين بالعلوي والسفلي أن يسموهما «واحد» و«اثنين» أو «ألفا» و«بيتا» أو حتى «جورج» و«نانسي» أو «ترايسترام» و«إيزولدا». ومن الناحية الأخرى فإن تسمية الكوارك الثالث «بالغريب» لها بالفعل بعض المغزى، حيث أنه أحد مكونات كل الجسيمات الغريبة. وبالطبع فإن الكوارك الغلوي والكوارك الغريب لهما ضديدات جسيمات مثلما للكوارك السفلي. وهي تسمى ضديد العلوي وضديد الغريب.

وفي أول الأمر كان الكثير من الفيزيائيين، بما فيهم جيل مان نفسه، يعتبرون أن الكواركات ليست إلا وسيلة رياضية خيالية ذات فائدة، وأنها ليست جسيمات ذات وجود فيزيائي حقيقي. وبكلمات أخرى، فإنه كان يُعتقد أن نموذج الكوارك هو مخطط رياضي تجريدي، يعطي بعض التنبؤات التي يمكن تأكيدها بالتجربة، ولكنه ليس له أي أساس من الواقع. وكما كان جيل مان يطرح الأمر أحياناً، فإن الباريونات والميزونات يبدو أنها تسلك وكأنها لها مكونات من كواركات.

والسبب في تشكك الفيزيائيين هكذا، هو أنهم مهما كانوا يجدّون في البحث فإنهم لم يستطيعوا إثبات وجود الكواركات تجريبياً. والكواركات فيما ينبغي هي مما يسهل العثور عليه، لأنها بخلاف كل الجسيمات الأخرى المعروفة، يفترض أن لها شحنات من كسور. فالكوارك العلوي مثلاً يفترض أن له شحنة كهربائية من + ٢/٣، بينما الكوارك السفلي والغريب لهما شحنات من −١/٣.

وليس من الممكن إثبات أن شيئاً ما «لا يوجد» وكمثل، فإنه ما من طريقة للبرهنة على أن الأشباح لا توجد. وأقصى ما يستطيعه المرء هو أن يطرح أن المعقول بأكثر هو أن نفترض أن الناس الذين يبلغون عن رؤية أشباح هم فيما يحتمل يهلوسون. ومن الناحية الأخرى، فإذا قام امرؤ بإجراء بحث شامل عن شيء ما، وفشل في العثور عليه، فإن من المعقول أن نفترض أن هذا الشيء لو كان موجوداً فإنه نادر أبلغ الندرة.

وهكذا فإنه عندما أجريت التجربة بعد الأخرى، وفشل الفيزيائيون في العثور على أي (كواركات) حرة في الطبيعة، فإنه بدا من المعقول أن يفترض أن جيل مان

وزملاءه ربما كانوا على صواب. فالكواركات مجرد خيال. وعلى كل فقد بدا أن البديل الوحيد لذلك هو استنتاج أن الكواركات لا يمكن أن توجد إلا من داخل الميزونات والباريونات، وليست قط مستقلة بذاتها.

ثم أجريت بعد ذلك في ١٩٦٨ تجربة بينت أنه قد يكون من الضروري رغم كل شيء تقبل هذا البديل الذي يبدو من غير المعقول. ذلك أن العلماء العاملين بمركز معجل ستانفورد الخطي (سلاك Stanford Line Accelerator Center (SLAC) قاموا بقذف البروتونات بإلكترونات عالية الطاقة، واكتشفوا أنه يوجد داخل البروتونات شحنات دقيقة كالنقاط.

وفيما يبدو فإن السبب أن الكواركات الحرة لا ترى هو أن القوى الجذبية بين الكواركات تكون ضعيفة جداً عندما تكون الكواركات قريبة معاً، ولكنها لا تلبث أن تصبح قوية جداً عندما تُشد الكواركات بعيداً عن بعضها. وهكذا فإنه عندما يبدأ أحد الكواركات التي من داخل البروتون في الهروب، فإن الكواركين الآخرين سوف يشدانه ثانية.

وبالإضافة إلى ذلك، فإنه يبدو أنه لا يمكن تخليق كواركات حرة بأن يتم تفتيت البروتون إلى الأجزاء المكونة له (هو أو أي باريون أو ميزون آخر). وقد يحاول المرء ذلك بأن يجعل البروتونات تصطدم بجسيمات أخرى. على أن الإلكترونات من مثل تلك التي تستخدم في (سلاك) لم تفلح في ذلك. فهي ببساطة تمر من خلال البروتونات مثلما تمر طلقة بندقية من خلال الزبد. كما لم يمكن أيضاً تخليق الكواركات الحرة عن طريق جعل البروتونات تصطدم بجسيمات الباريونات الأثقل. فتكسير البروتون إلى أجزاء يتطلب قدراً كبيراً جداً من الطاقة بحيث أنه يتم تخليق كواركات جديدة ومضادات كواركات جديدة حسب معادلة آينشتين ط = ك س٢ ($E=mc^2$) . وهذه الكواركات الجديدة المخلّقة لا تلبث أن يتحد أحدها مع الآخر لتكون باريونات وميزونات. والنتيجة النهائية هي إيجاد عدد من الجسيمات الثقيلة حيث كان يوجد قبلها جسيم واحد.

ويمكن النظر إلى هذه العملية بطريقة أخرى، هب أن الباحثين يحاولون شد كواركين لينفصل أحدهما عن الآخر. إنهم كلما زادوا شداً، زادت شدة القوة التي فيما بينهما. وفي النهاية، يكون قد تم إنفاق قدر كبير من الطاقة بحيث يمكن

تخليق زوج جديد من كوارك وضديد كوارك. وكنتيجة لذلك فإن الباحثين لن يروا قط أي كواركات حرة، وإنما سيرون فحسب المزيد من الجسيمات «العادية». ومع كل، فإن الزوج الجديد من الكوارك ـ ضديد الكوارك سيلتصق أحدهما بالآخر في عناد يماثل عناد الزوج الذي كان الباحثون يشدونه لينفصل.

وهذه القوة التي تهبط إلى الصفر عندما يكون جسيمان أحدهما قريب جداً من الآخر، ثم تصبح أقوى كلما زادت المسافة بينهما، لهي قوة تسلك على نحو يختلف تماماً عما تسلكه القوى المعتادة مثل المغناطيسية أو الجاذبية. وعلى كل، فإنه توجد بالفعل قوى في عالم الحياة اليومية تشبه القوى التي ما بين الكواركات. وكمثل، فإن الزنبرك لا يظهر أي نوع من القوة طالما لا يشده أحد. ولكنك لو شددته قليلاً بحيث تجعله يتمدد شيئاً هيناً، فإنه سيبدأ في الشد مرتداً. وكلما زاد تمديد الزنبرك، زادت شدة هذه القوة.

وطبيعي أنه يوجد دائماً نقطة ينهار عندها حتى أفضل قياس بالتمثيل. وأنت عندما تشد على الزنبرك بما يكفي من القوة، فإنه في النهاية سوف ينكسر إلى قطعتين. ولو كان الزنبرك يسلك من كل الأوجه مثلما يسلك زوج من الكواركات فإنه لن ينكسر. وبدلاً من ذلك فإنك ستجد نفسك وأنت تمسك بزوجين من الزنبركات، كل واحد منهما يشبه الزنبرك الأصلي الذي كنت تحاول شده لينكسر.

مكوّنات المادة:

قبل زمن طويل، تم اكتشاف كواركين إضافيين سُمّيا السحر والقاع. وكما يعتقد الفيزيائيون بأنه لا بد من وجود نيوترينو للتاو، فإنهم يعتقدون أيضاً أنه لا بد من وجود كوارك سادس يقترن بكوارك القاع وهو كوارك القمة. وفيما يُعتقد فإن كوارك القمة له كتلة كبيرة جداً، مما يعني أن تخليقه في تجربة سيتطلب قدراً عظيماً من الطاقة. وهذا يفسر السبب في عدم رؤيته حتى الآن.

وأسماء «سحر» و«قمة» و«قاع» هي بالطبع أسماء اعتباطية تماماً مثل «العلوي» و«السفلي» وأي من هذه الكواركات الثلاثة كان يمكن بسهولة أن يطلق عليه أي اسم آخر. والحقيقة أنه كانت هناك حركة ظلت تصر زمناً على أن تطلق على اثنين من الكواركات الجديدة «حقيقة» و«جمال» وذلك كاقتباس من قصيدة لكيتس هي

«أغنية عن جرة إغريقية» وعلى كل فإن الأسماء النثرية بأكثر هي التي كسبت في النهاية أي «القمة» و«القاع».

وعلوي، وسفلي، وغريب، وسحر، وقاع، وقمة هي ما يقال عنها إنها النكهات الست للكواركات. وإذا كان من الجائز أن يتم في المستقبل اكتشاف نكهات كواركات إضافية فإن هناك أسباباً نظرية معينة تؤدي للاعتقاد بأن الكواركات لن تتكاثر مثلما تكاثرت الباريونات والميزونات في الستينيات والسبعينيات من القرن. وفيما يُعتقد، فإن الحد الأقصى هو أنه قد يوجد ثمانية أو عشرة كواركات بدلاً من ستة. وحتى إذا كان من الممكن أنه قد يوجد ثمانية كواركات فإن هذا فيما يعتقد ليس أمراً جد محتمل. وفيما يعرض، فإنه مما لا يطرح أنه قد يوجد عدد فردي من الكواركات، فالكواركات هي مثل اللبتونات تأتي في أزواج.

وهكذا فإنه يبدو أن المكونات الأساسية للمادة عددها اثنا عشر: ستة كواركات وستة لبتونات*. وفيما عدا القوى التي تعمل بين الجسيمات، فإنه لا يوجد هناك أي شيء آخر. ولما كانت الميونات والتاونات وجسيمات النيوترينو والجسيمات التي تتكون من كواركات الغريب والسحر والقمة والقاع كلها مما لا يُرى إلا في المعمل، فإنه يمكن للمرء أن يقول إن كل الأشياء التي نراها في عالم الحياة اليومية لها فحسب ثلاثة مكونات هي: الإلكترونات وكوارك علوي

* بعد كتابة هذا الفصل تم تسجيل نتائج تجريبية جديدة تدعم فكرة أنه لا يوجد أكثر من ستة كواركات وستة لبتونات. وهذه الاكتشافات تم تسجيلها بواسطة فريق العمل على الكشاف مارك (٢)، وبواسطة مجموعات العلماء التي تعمل في جنيف بسويسرا على جهاز اصطدام (ليب) Large Electron-Positron (LEP) أي جهاز الاصطدام الكبير للإلكترون والبوزيترون. وقد تطلبت هذه النتائج رصد مشاهدات على جسيم Z^0 (زد زيرو)، وهو جسيم سوف نلقاه في فصل تالٍ. وبفحص الأسلوب الذي يضمحل به زد زيرو استنتج العلماء أنه لا يوجد سوى ثلاثة أنواع مختلفة من النيوترينو (نيوترينو الإلكترون، ونيوترينو الميون، ونيوترينو التاون). وهذا يتضمن أن اللبتونات عددها ستة فحسب. وما لم يتم على نحو ما كسر السمترية ما بين الكواركات واللبتونات فإنه لا بد وأن يكون عدد الكواركات أيضاً هو ستة بالضبط.

وكوارك سفلي. وهذان الكواركان كما رأينا من قبل هما اللذان يكونان البروتونات والنيوترونات. وهذه الجسيمات مع الإلكترونات فيها الكفاية لتكوين أي نوع من الذرات المعروفة.

وقد يحاج أحد المتشككين بأن العدد اثني عشر ليس بالعدد الصغير، ثم يضيف لقوله إن هذا العدد يتضاعف لو ضممنا ضديدات الجسيمات. ومن الناحية الأخرى، فإننا عندما نضع مكان مئات الجسيمات تحت الذرية جسيمات عددها اثنا عشر (أو أربعة وعشرون إذا حسبنا ضديدات الجسيمات) فإن هذا يمثل تقدماً بالفعل. وعلى أقل القليل، فإنه قد تم هكذا اتخاذ نقطة بداية.

مكونات المادة:

كمراجعة للفصل الأول فإنّ:

١- المادة كلها مصنوعة من ستة كواركات وستة لبتونات. وهكذا فإنه يوجد اثنا عشر جسيماً أساسياً (أو أربعة وعشرون، إذا حسبنا ضديدات الجسيمات منفصلة).

٢- اللبتونات الستة هي الإلكترون والميون والتاو، ونيوتريناتها المصاحبة لها.

٣- النكهات الست للكواركات هي أعلى وأسفل وغريب وسحر وقاع وقمة.

والمادة العادية مصنوعة من إلكترونات ومن الكواركين العلوي والسفلي. وكمثل، فإن البروتون مصنوع من كوارك واحد سفلي وكواركين علويين، والنيوترون مصنوع من كواركين سفليين وواحد علوي. ولو حدث ذات ليلة أن اختفت كل الجسيمات الأساسية فيما عدا الإلكترون والكواركات العلوية والسفلية، فإنه لن يعرف وجه الاختلاف سوى الفيزيائيين التجريبيين.

[2]

النموذج المعياري

إذا أردنا توصيفاً كاملاً للعالم الفيزيائي، وللتفاعلات ما بين الجسيمات، فإن من الواضح أنه لن يكفي لذلك أن نعدد مكونات المادة. ولو فعلنا ذلك فقط، فسوف ينقصنا عنصر هام. فمن الضروري أيضاً أن نأخذ في الحسبان القوى التي لها فعل بين الجسيمات.

وهناك أربع قوى معروفة: الجاذبية، والكهرومغناطيسية، والقوة النووية القوية، والقوة النووية الضعيفة. وثمة دليل يطرح إمكان وجود قوة خامسة. على أنه حتى كتابة هذا، فإن هذا الدليل يعد مثار جدل، ووجود هذه القوة الخامسة لم يثبت بعد. ومع كل فإنها لو كانت موجودة فعلاً، فإنها لن تكون سوى تعديل صغير لقوة الجاذبية.

وحيث إنها حالياً لا تقوم بأي دور في نقاشنا للموضوعات التي نعالجها في هذا الكتاب، فإنني لن أذكر عنها أي شيء آخر.

والجاذبية هي أضعف القوى الأربع، ولكنها القوة الوحيدة التي نحس بها مباشرة ونحن أيضاً نعي باستمرار وجود القوة الكهرومغناطيسية التي تمسك بالذرات والجزئيات معاً، والمسؤولة عن تخليق الضوء، وهو أحد أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي. ومن الناحية الأخرى، فإن القوتين النوويتين القوية والضعيفة لا يمكن الكشف عنهما إلا في المعمل. ورغم أنهما أصلاً أقوى كثيراً من قوتي الجاذبية والكهرومغناطيسية، إلا أن مداهما قصير قصراً بالغاً، ومفعولهما عموماً غير محسوس إلا على المستوى تحت الذري.

واختلاف القوى في مداها هو اختلاف درامي تماماً. فالجاذبية يمكنها أن تحدث فعلها عبر مسافات من ملايين بل وبلايين السنوات الضوئية، وهي تمسك المجرات

معاً وكذلك مجموعات المجرات. ومن الناحية الأخرى، فإن القوة النووية القوية تتهاوى إلى الصفر عبر المسافات التي تزيد عما يقرب من ١٠-١٣ سنتيمتراً*. أما القوة النووية الضعيفة فإن شدتها تتناقص حتى بسرعة أكبر وهذه القوة لا تعمل إلا على مدى أقل مما يقرب من ١٠-١٥ سنتيمتراً، وهذا بعد صغير حقاً. ونواة الذرة يبلغ قطرها ما يقرب من ١٠-١٣ سنتيمتراً، أي أنه تقريباً أكبر من ذلك البعد بمائة مثل**.

والقوة الكهرومغناطيسية، مثلها مثل قوة الجاذبية، لها القدرة على إحداث فعلها على مسافات ماكروسكوبية. وإدراكنا لها إدراكاً مباشراً هو أمر يقل احتماله عن إدراكنا للجاذبية (فيما عدا بالطبع لو حدث أن صعقنا البرق)، ورغم هذا إلا أن مفعول القوة الكهرومغناطيسية ينتشر متخللاً كل حياتنا، فالكهرباء كما هو واضح تخلقها القوة الكهرومغناطيسية. وكما ذكرت فيما سبق، فإن الضوء هو شكل من الإشعاع الكهرومغناطيسي. وكذلك أيضاً الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة جاما، وموجات الراديو (اللاسلكي). والقوة الكهرومغناطيسية هي التي تجعل الإلكترونات ذات الشحنة السالبة تنجذب للنوى الذرية ذات الشحنة الموجبة. وهي تربط الذرات معاً في جزئيات، وتجعل الجزئيات أيضاً يلتصق أحدها بالآخر. وبكلمات أخرى، فإن القوة الكهرومغناطيسية هي المسؤولة عن جمود المادة الجامدة.

والقوة النووية القوية هي التي تربط البروتونات والنيوترونات أحدها بالآخر في نوى الذرات. وهي تحدث فعلها على الباريونات والميزونات، ولكنها لا تؤثر في اللبتونات. والقوة القوية هي أيضاً القوة التي تربط الكواركات معاً من داخل الميزون أو الباريون. والحقيقة أن القوة التي بين النيكليونات*** ينظر إليها كمظهر للقوة التي بين الكواركات.

---

* ١٣١٠ هي عدد يمثله رقم (١) يعقبه ١٣ صفراً ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ و١٠-١٣ هي (١) مقسوماً على ١٣١٠ أو ٠ر٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١.

** لأن ١٠-١٥ عدد «أصغر» من ١٠-١٣.

*** النيكلون هو أحد مكونات النواة أي أنه بروتون أو نيوترون. (المترجم)

ورغم أن القوة النووية الضعيفة أضعف إلى حد له اعتباره من القوة القوية، إلا أنها لا تقل عنها أهمية - أو هي على الأقل مهمة بالنسبة للكائنات البشرية، ذلك أنها مسؤولة عن التفاعلات النووية التي توفر الطاقة لشمسنا. ولو كانت القوة الضعيفة غير موجودة، فلعله ستوجد نجوم وكواكب في الكون، ولكنها ستكون أجراماً باردة معتمة.

والجدول التالي قد لخصت فيه خصائص القوى. ووحدات شدة القوى هي وحدات تعسفية. ويمكن للمرء بنفس السهولة أن يجعل قوة الجاذبية هي التي تساوي واحداً بدلاً من القوة القوية. وفي هذه الحالة ستكون القوة القوية ذات شدة من ٣٩١٠. وبالطبع فإن سم هي اختصار سنتيمتر.

القوى الأربع

القوة	شدة القوة	تؤثر في	المدى
القوية	١	باريونات، ميزونات، كواركات	١٠-١٣سم
الكهرومغناطيسية	١/١٠٠	كل الجسيمات المشحونة	لا نهائي
الضعيفة	١٠-٥	كل الجسيمات	١٠-١٥سم
الجاذبية	١٠-٣٩	كل الجسيمات	لا نهائي

وقد يبدو غريباً أنه ينبغي أن تكون الجاذبية مهمة جداً في الكون بينما القوة الكهرومغناطيسية التي لها أيضاً مدى لا نهائي، هي أقوى بما يصل إلى ٣٧١٠ مثل. والسبب في ذلك هو ببساطة أن المادة متعادلة كهربائياً. فالكون فيه عدد من الجسيمات ذات الشحنة السالبة يماثل عدد الجسيمات ذات الشحنة الموجبة. ولو زاد عدد أحد النوعين على الآخر، ولو حتى بكسر صغير من ١ في المائة، فإن القوة الكهرومغناطيسية ستحدث فعلها على مسافات كبيرة وتغلب على فعل الجاذبية.

الفعل عن بعد:

عندما طرح إسحق نيوتن قانونه عن الجاذبية في ١٦٨٧ نقده بعض أفراد من معاصريه ممن عارضوا حدوث «الفعل عن بعد». وقال نقاد نيوتن إنه لو كان ثمة ما يعطي لهم أي فكرة عن الطريقة التي يمكن بها انتقال قوى الجاذبية فلربما أمكنهم أن

يأخذوا نظرية نيوتن مأخذاً أكثر جدية. ومن الناحية الأخرى فإن الفكرة بأنه يمكن لإحدى القوى أن تحدث فعلها عبر الفضاء الخاوي لهي ببساطة فكرة غير مقبولة. وكما عبر عن الأمر الفيلسوف الألماني جوتفريد ليبنتز فإن هذا يجعل الجاذبية تبدو وكأنها «معجزة دائمة».

والعلماء اليوم مازال لديهم نفور من فكرة إحداث الفعل عن بعد. وهم مثل نقاد نيوتن، يريدون أن يعرفوا كيف يمكن لإحدى القوى أن تنتقل. ولحسن الحظ فإن العلماء اليوم، بخلاف نيوتن ومعاصريه، لديهم نظرية تبين كيف يكون ذلك ممكناً. ولعله ينبغي علينا أن نقول إن لديهم «نظريات» لأنها نظريات عديدة. ونظريات المجال الكمي هذه تفسر بنجاح طبيعة القوى التي تحدث فعلها بين الجسيمات.

وأول نظرية نشأت للمجال الكمي هي نظرية الإلكتروديناميكا الكمية (QED) quantum electrodynamics. ونظرية الإلكتروديناميكا الكمية تفسر طبيعة القوة الكهرومغناطيسية، وهي واحدة من أنجح النظريات التي نشأت قط على يد العلماء. وتنبؤاتها قد تم تحقيقها تجريبياً بدرجة من الدقة تفوق الجزء من البليون، وهذه درجة من الدقة لم يسمع بها في أي مجال علمي آخر.

وتوجد أيضاً نظريات أخرى، صيغت على غرار الإلكتروديناميكا الكمية، وتفسر التفاعلات القوية والضعيفة. والحقيقة، كما سوف نرى، أن هناك نظرية مجال كمي توصف القوتين الكهرومغناطيسية والضعيفة في إطار واحد. ورغم أنه ليس هناك بعد أي نظرية كم للجاذبية، إلا أن الفيزيائيين لا يشكون في أنه سيتبين في النهاية أن قوى الجاذبية تنتقل بنفس الطريقة التي تنتقل بها القوى الثلاث الأخرى. وإذا كانوا على صواب، وإذا تم في النهاية العثور على نظرية كهذه، فإن نقاد نيوتن سيتم لهم في آخر الأمر الإجابة عن سؤالهم.

وقد يظن المرء أن نظرية تسمى «الإلكتروديناميكية الكمية» لهي نظرية معقدة حقاً، ولكن الأمر ليس كذلك. فهذه النظرية مثلها مثل كل النظريات العلمية الأخرى الناجحة تتأسس على مفاهيم هي حقاً بسيطة تماماً. والحقيقة أنه يوجد فيها فرضان أساسيان اثنان فحسب:

١- القوى تنتقل بواسطة جسيمات.

٢- هذه الجسيمات يمكن أن تندفع إلى الوجود من لا شيء، لتختفي ثانية بعد

أن يتم نقل القوة.

ولما كان من الواضح أن كلاً من الفرضين على علاقة بالآخر، فإنه يمكننا إذن أن ننظر في أمر الفرض الثاني أولاً. وهذا في الحقيقة لا يزيد عن أن يكون طريقة أخرى لصياغة مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، وهو أحد المسلمات الرئيسية لميكانيكا الكم.

وميكانيكا الكم هي النظرية التي توصف سلوك كل الجسيمات تحت الذرية. ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج قد سمّي باسم الفيزيائي فيرنر هايزنبرج، وهو يقرر أنه من المستحيل أن نحدد في نفس الوقت موضع الجسيم وعزمه. ويمكننا بما يساوي ذلك، أن نقول إنه من المستحيل أن نحدد في ذات الوقت موضع الجسيم وسرعته. وعلى كل، فإن العزم يعرف بأنه حاصل ضرب «الكتلة × السرعة».

ومبدأ عدم اليقين لا شأن له بأوجه القصور في آلات القياس عند العلماء. فهو يقرر أنه حتى باستخدام أجهزة دقيقة إلى حد الكمال، سيكون من المستحيل أن نعرف كلا المقدارين في نفس الوقت. وكلما زادت الدقة في قياس السرعة (أو العزم) زاد عدم اليقين بالنسبة لموضع الجسيم. وكلما زادت دقة معرفتنا للموضع، زاد عدم اليقين بالنسبة للسرعة.

ونحن عندما نتعامل مع أشياء ماكروسكوبية، يمكننا معرفة كلا المقدارين في نفس الوقت، أو على الأقل فإن أوجه عدم اليقين يمكن أن تُجعل صغيرة جداً بحيث يمكن إهمالها. أما الجسيمات تحت الذرية فإنها تسلك سلوكاً مختلفاً. فإذا عرفنا أحد المقدارين معرفة دقيقة تماماً، فإن المقدار الآخر لا يصبح فحسب مما لا يمكن قياسه، بل إنه أيضاً لا يمكن تحديده. وإذا عرفت سرعة أحد الإلكترونات بدقة مطلقة، فإنه لا يمكن قول شيء فيما يتعلق بموضعه؛ فهو قد يكون في أي مكان في الكون.

ورغم أن مبدأ عدم اليقين يذكر بصفة عامة بلغة من الموضع والسرعة (أو الموضع والعزم)، إلا أنه يمكن أيضاً تطبيقه على أزواج أخرى معينة من المقادير. وأحد هذه الأزواج هو الزمن والطاقة. فإذا عرفنا طاقة أحد الجسيمات معرفة دقيقة، فإننا لا يمكننا قول شيء عن مقدار الزمن الذي يحتمل أن يظل الجسيم فيه في هذه الحالة من الطاقة. وبالعكس، فإذا عرفنا على وجه الدقة الزمن الذي ظل الجسيم فيه في هذه الحالة، فإن أفكارنا عن طاقته ستكون حقاً مشوشة.

وفكرة وجود علاقة من هذا النوع بين الزمن والطاقة ليست مفهوماً تجريدياً. فهذا أمر يمكن ملاحظته بالفعل في المعمل. وكمثل فإنه من الممكن تخليق نبضات من ضوء الليزر يكون زمان بقائها قصيراً جداً. وعندما يتم فعل ذلك، فإن نبضة الليزر ستكون مصنوعة حتماً من حزمة من الأشعة ذات أطوال موجات مختلفة وطاقات مختلفة. ولا توجد هنا طريقة يمكن بها تحديد الطاقة بدقة.

وهناك نتائج مهمة أخرى لـلعلاقة بين الزمن والطاقة. ويقضي مبدأ عدم اليقين بأن الجسيمات يمكنها أن تأتي إلى الوجود لفترات قصيرة من الزمن حتى إن لم يكن هناك طاقة كافية لتخليقها. والواقع أنها تتخلق من اللايقينيات في الطاقة. ويمكننا القول بأنها (تقترض) لزمن قصير الطاقة اللازمة لتخليقها، ثم إنها بعد زمن قصير ترد «الدين» ثانية وتختفي مرة أخرى. ولما كانت هذه الجسيمات ليس لها وجود دائم فإنها تسمى جسيمات تقديرية.

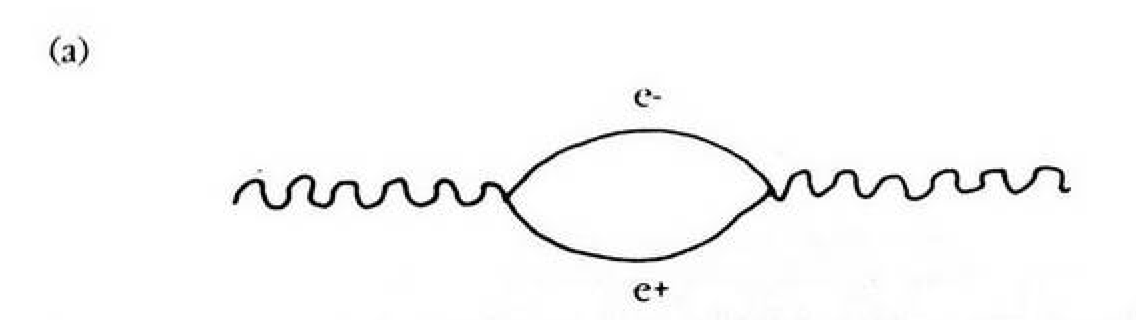
والجسيمات التقديرية تخضع لمبدأ أن جسيمات المادة لا يمكن خلقها إلا في أزواج. فالإلكترون التقديري هو أو البروتون التقديري أو النيوترينو التقديري أو الكوارك التقديري، كل منها لا يتخلق قط وحده. فهو يظهر دائماً ومعه رفيق من ضديدات الجسيمات (وإن كنا سنرى فيما بعد أن جسيمات القوة يمكن تخليق الواحد منها لوحده).

ويتفق هكذا أن هناك طريقة بصرية لتوصيف تفاعلات الجسيمات. وهذه الطريقة تستخدم أشكال «فينمان» التي سميت باسم الفيزيائي الأمريكي الراحل «ريتشارد فينمان».

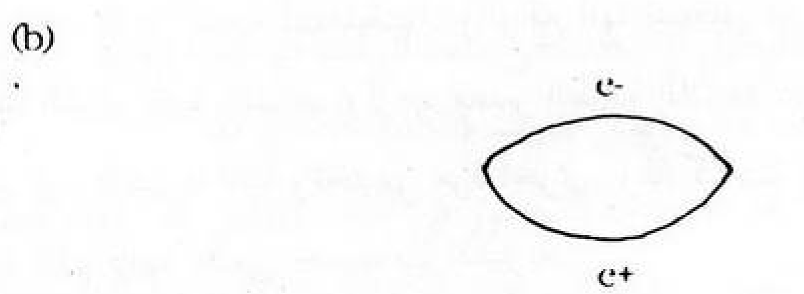
والفيزياء الحديثة لا يوجد فيها ما يسمى «لاشيء». فحتى في الفراغ الكامل، يتم باستمرار تخليق جسيمات تقديرية ثم تدميرها. ووجود هذه الجسيمات ليس رواية من روايات الخيال الرياضي. ورغم أنه لا يمكن ملاحظتها على نحو مباشر، فإن ما تخلقه من تأثيرات لهو حقيقي تماماً. وافتراض وجودها يؤدي إلى تنبؤات قد تم إثباتها عن طريق التجارب بدرجة عالية من الدقة.

ويتضمن مبدأ عدم اليقين أن هناك علاقة بين كتلة الجسيم التقديري وطول الزمن الذي يمكن أن يبقى فيه. وحيث أن تخليق الجسيمات الثقيلة يوجب افتراض قدر من الطاقة أكبر مما لتخليق الجسيمات الخفيفة، فإنه يترتب على ذلك أن الزمن الذي

(a)



(b)



شكلان من أشكال فينمان. وها هنا تمثل الخطوط المتموجة أشعة جاما، و إ- هو رمز للإلكترون، و إ+ رمز للبوزيترون.

وفي (أ) يتم تخليق جسيمين حقيقيين من الطاقة التي يمد بها شعاع جاما.

وفي وقت ما لاحق يبيد كل منهما الآخر، وتتخلق الطاقة ثانية في مكانهما.

وبالطبع فإن هذا الحدث الثاني لا يلزم أن يحدث وقوعه؛ فيمكن للإلكترون والبوزيترون أن يبتعد كل منهما في اتجاه مختلف، ولا يلتقيان أبداً ثانية.

وفي (ب) تم تخليق إلكترون تقديري وبوزيترون تقديري من طاقة مقترضة.

وفي هذه الحالة فإنهما «ولا بد» سيبيد أحدهما الآخر.

ومبدأ عدم اليقين لا يوفر لهما الوقت الكافي للهروب.

يسمح فيه ببقاء الجسيمات الثقيلة هو زمن أقصر. وكمثل، فإن زوجاً من الإلكترون - البوزيترون التقديريين يظل باقياً لزمن يقرب من ١٠-٢١ ثانية قبل أن يختفي الجسيمان ثانية. ومن الناحية الأخرى فإن البروتون وضديد البروتون التقديريين

يختفيان بعد ١٠-٢٤ ثانية (لنذكر أن ١٠-٢٤ هي الرقم الأصغر).

وحتى الآن، فإننا قد نظرنا فحسب في أمر جسيمات المادة، مثل الإلكترونات، ولكن ما من سبب يمنع من أنه يمكن أيضاً تخليق فوتونات تقديرية أو جسيمات الضوء. وفيما يعرض فإنه ليس من تناقض هنا عندما نتحدث عن جسيمات الضوء، بينما نتحدث في أحيان أخرى عن الضوء باعتباره موجات كهرومغناطيسية. فقد تبين مبكراً في القرن العشرين أن الضوء له معاً خاصية الموجة وخاصية الجسيم. والحقيقة، أنه حسب ميكانيكا الكم، ليس هناك وجود لموجة خالصة أو جسيم خالص في العالم تحت الذري. فجسيمات المادة مثل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات، هي أيضاً تظهر نفسها أحياناً كموجات.

والفوتون هو جسيم ضوء، والضوء هنا هو أحد مظاهر القوة الكهرومغناطيسية. وهكذا فإنه ليس من الخطأ أن نقول إن القوى الكهرومغناطيسية مسؤولة عن تخليق الفوتونات. والإلكتروديناميكا الكمية تمضي خطوة أخرى للأمام فتقول إن الفوتونات «هي» القوة الكهرومغناطيسية.

وحسب نظرية الإلكتروديناميكا الكمية ونظريات المجال الكمية الأخرى، فإن القوى تنجم عن تبادل جسيمات. وكمثل، فإن الإلكترونين ذوي الشحنة السالبة ينفر أحدهما من الآخر لأن هناك فوتونات تقديرية تروح جيئة وذهاباً فيما بينهما. فأحد الإلكترونين يبث فوتوناً تقديرياً، ويرتد شيئاً للخلف وهو يفعل ذلك. والفوتون أيضاً يصيب الإلكترون الثاني «بركلة» صغيرة عندما يتم امتصاصه. وهكذا فإن الإلكترونين يوكزان ليبتعد أحدهما عن الآخر.

ويلاحظ هنا أن تخليق الفوتونات التقديرية هو عملية مختلفة نوعاً عن تخليق أزواج الجسيم - ضديد الجسيم. فجسيمات القوة يمكن بثها منفردة، وليس من الضروري أن يتم تخليق الجسيم وضديد الجسيم في نفس الوقت.

ومن السهل نسبياً أن نرى كيف أن تبادل الفوتونات يمكن أن يؤدي إلى التنافر. وقوى التجاذب تنشأ أيضاً بطريقة متشابهة. وكمثل، فإن الإلكترون ذا الشحنة السالبة والبروتون ذا الشحنة الموجبة يجذب أحدهما الآخر أيضاً بتبادل الفوتونات. ويتفق أنه يوجد تمثيل لذلك قد ابتكره الفيزيائي البريطاني سير دنيس ويلكنسون،

قد يجعل من الأسهل تصور هذا الأمر. فيقول ويلكنسون أنْ هيّا نتخيل اثنين وهما يتزحلقان وهما يتحركان فوق بحيرة متجمدة. ولنفترض الآن أنهما أخذا يتقاذفان كرة «كريكت» جيئة وذهاباً. لن يكون صعباً أن نرى أن كل متزحلق سيرتد بعض الشيء عندما يقذف الكرة أو عندما يمسك بها. وهكذا فإنهما سيجبران بالتدريج على التباعد. ولكننا الآن، كما يقول ويلكنسون سنتخيل أن المتزحلقين قد أدارا ظهريهما أحدهما للآخر، وهما يتقاذفان قطعة بومرانغ* Boomerang جيئة وذهاباً. ويقذف أحد المتزحلقين بهذه القطعة بعيداً عن زميله وطبيعي أن البومرانغ سينحني مرتداً إلى الاتجاه الآخر، ويمسك به المتزحلق الثاني، الذي مازال يتجه بظهره إلى الأول. والنتيجة النهائية هي أنه سيكون هناك قوة جذب وسوف يتحرك الاثنان ليزيد تقاربهما معاً.

التنافر ما بين إلكترونين ينشأ عن تبادل الفوتونات. وفي الشكل أعلاه يبث أحد الجسيمين الفوتون ليمتصه الآخر. والفوتون يمثله الخط المتموج.

وينبغي أن نؤكد مرة أخرى، أنه يجب ألا يتابع القياس بالتمثيل إلى أبعد مما يلزم. وفي حالتنا هذه، يكون من الخطأ أن نفترض أن الفوتونات عندما تخلق قوى

* قطعة خشب ملوية يستخدمها سكان استراليا الأصليون لإصابة هدف ما، وهي ترتد بعد رميها في اتجاه من رماها. (المترجم)

تجاذبية فإنها ستتبع منحنى لمسار قذف يماثل ما للبومرانغ. والحقيقة، فإن مبدأ عدم اليقين يجعل من المستحيل أن نحدد مسار القذف الذي يتبعه جسيم تحت ذري. وعلى كل، فإنه إذا كان يمكننا أن نقنع أنفسنا بأن تبادل الجسيمات يمكن أن يخلق قوى تجاذبية في العالم الماكروسكوبي، فإن هذا فيما ينبغي سيجعل من الأسهل لنا أن نتقبل فكرة تبادل الجسيمات يمكن أن ينتج أيضاً تجاذباً بمقياس ما تحت الذرة.

توحيد القوى:

نظرية الإلكتروديناميكا الكمية ليست واحدة من تلك النظريات التي يستنبطها فرد واحد. فقد ساهم في إنشائها فيزيائيون كثيرون. والحقيقة أنها ذات تاريخ متقلب. وقد تم استخلاص الأفكار الأساسية للإلكتروديناميكا الكمية خلال العشرينيات والثلاثينيات. على أن الفيزيائيين لاقوا آنذاك مصاعب بدا أنها تجعل النظرية غير صالحة. وكنتيجة لذلك فإن النظرية وضعت ثانية على الرف، وصرف الفيزيائيون النظريون انتباههم إلى مشاكل أخرى أكثر طواعية. وعاد إحياء الانتباه إلى نظرية الإلكتروديناميكا الكمية أثناء الأربعينيات، وذلك بعد أن تبين عدد من الفيزيائيين، وكل منهم يعمل على حدة، كيف يمكن تفادي تلك المصاعب.

وهكذا فإنه في ١٩٥٠ كان الموقف كالتالي: لدى الفيزيائيين نظرية عن الجاذبية هي نظرية النسبية العامة* لآينشتين. ولديهم نظرية صالحة للعمل عن التفاعل الكهرومغناطيسي، هي الإلكتروديناميكا الكمية. وهناك أيضاً نظرية عن القوة الضعيفة طرحها الفيزيائي الإيطالي «أنريكو فيرمي». على أن نظرية فيرمي كانت قادرة فحسب على توصيف هذه العملية على نحو تقريبي جداً. وأخيراً فإن الفيزيائيين لم يفهموا مطلقاً القوة القوية فهماً جيداً تماماً. وعلى وجه التأكيد، فإن الفيزيائي الياباني «هيدكي يوكاوا» كان قد طرح في ١٩٣٥ نظرية تبين أن تبادل الميزونات ينتج القوة التي ما بين البروتونات والنيوترونات. على أن نظرية يوكاوا رغم ما كان لها من نجاحات، إلا أنها لم تبد قادرة على توصيف القوة القوية بالدقة

* هناك نظريتان للنسبية، نظرية النسبية الخاصة التي تتناول سلوك الأشياء التي تتنقل بسرعات كبيرة، ونظرية النسبية العامة وهي نظرية عن الجاذبية.

التي يحب الفيزيائيون أن تكون عليها.

وحتى لو أنه كان هناك أربع نظريات مرضية إرضاء كاملاً، واحدة منها لكل قوة من القوى الأربع، فليس في هذا ما يدعو للكثير من البهجة. وإذا كانت قوانين الطبيعة هي أساساً قوانين بسيطة، فإنه ينبغي إذن أن يكون ممكناً إيجاد نظرية واحدة قادرة على تفسير كل القوى. والتصور بأن الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوى القوية والضعيفة كل منها يعمل بطريقة مختلفة، لهو أمر يجعل الكون يبدو جد معقد.

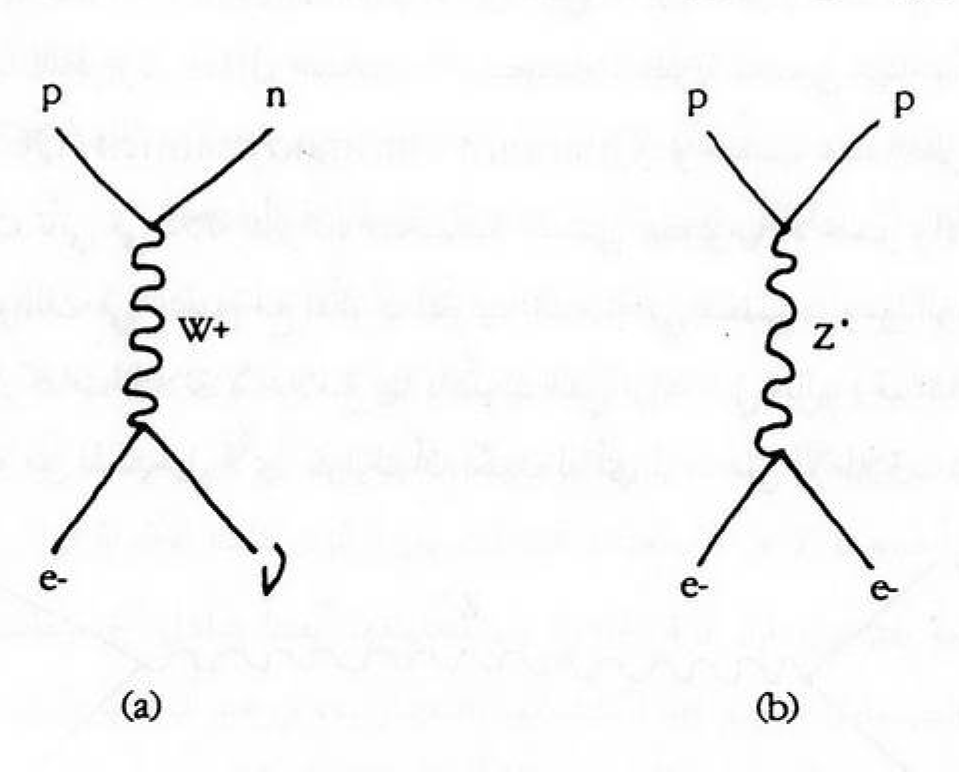
وكما رأينا، فقد ثبت أثناء الستينيات أن الباريونات والميزونات مصنوعة من الكواركات، ولكن هذا لم يؤد في التوّ إلى ما يخفف من الموقف غير المرضي بشأن القوى الأربع. والحقيقة أنه جعل الأمور أشد صعوبة، لأن الفيزيائيين لم يكن لديهم في أول الأمر أي فكرة عن شكل القوى التي فيما بين الكواركات.

وأول خطوة نحو توحيد القوى تم اتخاذها في ١٩٦٧، عندما طرح الفيزيائي الأمريكي «ستيفن واينبرج» والفيزيائي الباكستاني «عبد السلام»، كل منهما مستقلاً عن الآخر، نظرية مشتركة للقوى الكهرومغناطيسية والضعيفة. ونظرية واينبرج وسلام الكهروضعيفة نظرية توصف بالفعل القوة الضعيفة بدقة أكثر من النظرية التي أنشأها فيرمي. على أنها كانت تعاني من مشاكل نظرية تشبه تلك التي اعتلت بها أول الأمر النظرية الإلكتروديناميكية. ولحسن الحظ حدث في ١٩٧١ أن بين الفيزيائي الهولندي «جيرارد هوفست» كيف يمكن إزالة هذه المشاكل.

وحسب النظرية، فإن القوة الكهروضعيفة (هناك الآن قوة واحدة بدلاً من قوتين، بمعنى أنه يمكن النظر إلى القوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية على أنهما مظهران مختلفان لنفس التفاعل) لها وسطاء نقل من مجموعة من أربعة جسيمات. وأحد هؤلاء الوسطاء هو الفوتون المعروف، أما الأخرى فخصص لتسميتها حرفا دبليو W وزد Z. وهناك جسيمان من نوع دبليو، لأحدهما شحنة كهربية موجبة وللآخر شحنة سالبة. ورمزا ذلك هما W^+ W^-. ولما كان جسيم زد متعادلاً كهربياً، فإنه يمثل بالرمز Z^0 (زد صفر).

وثبت في النهاية نجاح النظرية الكهروضعيفة نجاحاً مدوياً. فقد تم اكتشاف كل

الجسيمات الجديدة الثلاثة في ١٩٨٣. وبالإضافة، فقد ثبت في النهاية أيضاً أن الجسيمات الثلاثة ثقيلة جداً، فكتلتها تزيد على كتلة البروتون بما يقرب من مائة مثل. وقد كان هذا ما توقعه الفيزيائيون بالضبط؛ وهذا يفسر المدى القصير لبقاء القوة الضعيفة. فتخليق الجسيم الثقيل يتطلب قدراً كبيراً من الطاقة. وحسب مبدأ عدم اليقين، كلما زادت كمية الطاقة التي يجب «اقتراضها»، زاد قصر الفترة الزمنية التي يسمح بأن يوجد فيها الجسيم التقديري. ولكن إذا كان مدى حياة أحد الجسيمات قصيراً جداً، فإنه إذن لن يتمكن من الانتقال لمسافة جد بعيدة قبل اختفائه ثانية إلى العدم كما ينبغي. ومن الناحية الأخرى، فإن الفوتون له كتلة من الصفر. وبالتالي فإنه يمكن أن يظل موجوداً لزمن طويل جداً. وهذا هو السبب في المدى الطويل للقوة الكهرومغناطيسية.



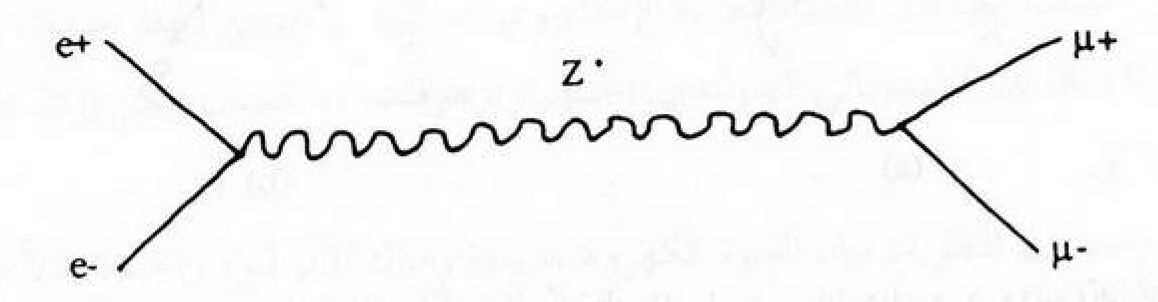
يبين الشكل تفاعلين من التفاعلات الكثيرة الممكنة التي تشمل جسيمات دبليو وزد. و(نيو) هنا تمثل النيوترينو. لاحظ أنه حيث أن جسيم دبليو يحمل شحنة كهربائية، فإنه يمكن أن نغير أحد النيوترونات إلى بروتون، والعكس بالعكس. وفي شكل (أ) يبث البروتون ذو الشحنة الموجبة جسيم W^+ ويصبح نيوتروناً. والإلكترون ذو الشحنة السالبة يمتص الشحنة ويتحول إلى نيوترينو متعادل كهربائياً. وفي شكل (ب) لا تحدث تحولات كهذه، لأن جسيم القوة لا يحمل شحنة.

والعلاقة التي بين كتلة الجسيم ومدى إحدى القوى تصبح أوضح لو عدنا مرة

أخرى إلى التمثيل بالمتزحلقين. هيّا نفترض أن المتزحلقين يتقاذفان بكرة جولف. ولما كانت هذه الكرة خفيفة نسبياً، فإنهما سيتمكنان من قذفها لمسافة بعيدة تماماً، بحيث يتفاعلان على مسافات هي نوعاً جد بعيدة. والآن لنفرض أن المتزحلقين قررا أن يتقاذفا بدلاً من ذلك بكرة التريض* جيئة وذهاباً. ولما كانت هذه الكرة ثقيلة، ولا يمكن قذفها بعيداً جداً، فإن المتزحلقين يجب أن يكونا قريبين معاً، إذا كان لهما أن يتفاعلا. ولو أنهما ابتعدا بأكثر مما ينبغي، فإن المتزحلق الآخر لن يستطيع الإمساك بالكرة، وستندفع لتتدحرج فوق الثلج.

نظرية ديناميكا اللون الكمية:

تم بعد ذلك إنشاء توصيف نظري للقوة التي ما بين الكواركات. واستخلص الفيزيائيون النظريون خلال منتصف السبعينيات نظرية تسمى ديناميكا اللون الكمية Quantum chromodynamics (QCD). وحسب هذه النظرية، فإن الكواركات تأتي في ثلاثة «ألوان» مختلفة تسمى عموماً الأحمر والأخضر والأزرق، وذلك في تمثيل مع الألوان الأولية الثلاثة في الضوء. ومن الواضح أن ألوان الكواركات الثلاثة لا علاقة لها بالألوان التي نراها في عالم الحياة اليومية. والحقيقة أنه من المستحيل لأي كوارك أن يكون له أي لون على الإطلاق، حيث إنه



من الممكن تخليق جسيمات دبليو زد حقيقية مثلما يمكن أيضاً تخليق جسيمات تقديرية منها. وفي الشكلين أعلاه بوزيترون وإلكترون يبيد أحدهما الآخر، وينتج عن ذلك جسيم Z0 وليس إشعاع جاما. وفيما يعرض فإن Z0 لا يلزم له أن يضمحل على هذا المنوال؛ وهو يمكن أن يضمحل ثانية إلى إلكترون وبوزيترون.

أصغر جداً من طول موجات الضوء المقابلة للأحمر والأخضر والأزرق. فألوان

أصغر جداً من طول موجات الضوء المقابلة للأحمر والأخضر والأزرق. فألوان
الكواركات ليست إلا أسماء لثلاثة أنواع مختلفة من الشحنات التي يمكن أن تحوزها الكواركات. وكان يمكن أيضاً أن نسميها «نعم» و«لا» و«ربما» أو «أ» و«ب» و«ج» أو حتى «جرترود» و«أليس» و«فرجينيا».

ومن الواضح أن الكواركات، أو شحناتها، ليست مماثلة للشحنات الكهربائية التي تأتي فحسب في نوعين موجب وسالب. وعلى كل، فالاثنان يتشابهان بمعنى ما. وينبغي مع كل ألا نندهش إذا اكتشفنا أن الكواركات يمكن أن تتفاعل بطرق أكثر تعقيداً عن الشحنات الموجبة والسالبة، بل تفعل ذلك حقاً. فالقوى التي بين الكواركات لا ينقلها وسيط من جسيم واحد وإنما مجموعة وسطاء عددها ثمانية.

والجسيمات الناقلة للقوى التي تحدث فعلها بين الكواركات تسمى الجلونات* (اللاصقات). وسبب هذه التسمية واضح فيما ينبغي: فالجلونات «تلصق» الكواركات معاً. ورغم أنها توجد في ثمانية أنواع مختلفة، فإنها تتماثل تماماً مع الجسيمات الأربعة التي تعمل كوسيط لنقل القوة الكهرضعيفة.

وقوة اللون التي ما بين الكواركات تفسر القوة القوية التي ما بين الباريونات والميزونات، وهي قوة يمكن الآن فهمها كنوع من قوى متبقية قد تم تخليقها بالتفاعلات بين الكواركات. فالبروتون والنيوترون أو البروتونات أو النيوترونات، يجذب أحدهما الآخر لأن هناك تجاذبات بين الكواركات المكونة لها.

وفيما يفترض، فإن قوة الجاذبية يتم تخليقها أيضاً بتبادل الجسيمات. ورغم أن هذه الجسيمات لم يتم قط اكتشافها بالتجارب، ورغم أن الفيزيائيين لا يتوقعون اكتشافها في المستقبل القريب، إلا أنها مازال لها اسمها. فهذه الجسيمات الافتراضية تسمى جرافيتونات. ورغم أنه لا يوجد حتى الآن دليل على وجودها، إلا أنه سيكون مما يثير بالغ الدهشة أن يثبت في النهاية أنها غير موجودة، لأننا لا نتوقع أن تعمل إحدى القوى الأربع بطريقة تختلف عن القوى الثلاث الأخرى. وإذا لم يكن هناك شيء من مثل الجرافيتون، فإن مشكلة الفعل الجذبوي عن بعد ستجابهنا مرة أخرى، وسيلزم إعادة فتح النقاش الذي دار بين نيوتن ومعارضيه.

• من كلمة Glue الانجليزية بمعنى اللصق بالغراء. (المترجم)

النموذج المعياري:

قد يكون من المفيد عند هذه النقطة أن نعيد تلخيص ما سبق كالتالي:

١ـ المادة مصنوعة من اثني عشر جسماً أساسياً: ستة كواركات وستة لبتونات.

٢ـ هناك أربع قوى: القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية، والجاذبية. والقوة القوية هي في الحقيقة مظهر لقوة اللون التي تحدث فعلها بين الكواركات، والجلونات. واللبتونات لا تخبر هذه القوة لأنها ليس لها لون. والقوتان الضعيفة والكهرومغناطيسية يمكن توصيفهما كنظرية واحدة. فمن الممكن فهمهما كمظهرين مختلفين لقوة واحدة هي الكهرضعيفة.

٣ـ القوى المختلفة يتم نقلها بواسطة تبادل الجسيمات. وهناك اثنا عشر جسيماً معروفة لنقل القوى: ثمانية جلونات، وجسيمان من نوع دبليو، وزد صفر، والفوتون. والجرافيتون إن كان له وجود سيكون الجسيم الثالث عشر. وعلى كل فإنه حتى هذه اللحظة سيكون من الأفضل أن نتركه خارج القائمة، حيث أنه لا توجد بعد أي نظرية كمية للجاذبية.

وتوصيف المادة والقوى الذي لخصناه في القائمة أعلاه له اسمه. فهو يسمى النموذج المعياري.

وحتى كتابة هذا الفصل لم يكتشف العلماء بعد أي دليل يناقض أي نظرية بين النظريات التي تشكل النموذج المعياري. على أن الكثيرين من العلماء لا يعدون هذا النموذج مرضياً بشكل كامل. ففي رأيهم أن له بعض عيوب خطيرة.

ففي المكان الأول، نجد أن النظريات التي تكون النموذج المعياري لا تفسر السبب في أن للجسيمات كتلاً. والحقيقة أن هذه النظريات في شكلها الخالص توصّف فحسب جسيمات بلا كتلة، وهذا بالطبع غير واقعي حقاً. وبعض الجسيمات التي نظرنا في أمرها ليست جد ثقيلة، كالإلكترون مثلاً ـ على أن بعض الإلكترونات ليست بلا كتلة. ولا البروتونات ولا النيوترونات بلا كتلة، كما أن بعض جسيمات القوى لها كتلة ثقيلة نوعاً. فجسيم زد صفر (Z0) مثلاً يزن ما يصل إلى مائة مثل للبروتون، أو ١٨٠٠٠٠ مثل للإلكترون.

ويمكن تعديل النموذج بطريقة تعطي للجسيمات كتلة. ويتم صنع هذا بواسطة ميكانيزم هيجز، وهو تكنيك نظري سمي باسم الفيزيائي البريطاني الذي اكتشفه، وهو بيتر هيجز. وميكانيزم هيجز يتطلب افتراض وجود مجال* لم يكتشف بعد. ومجال هيجز لا تنشأ عنه أية قوى وذلك بخلاف مجالات الكهرومغناطيسية والضعيفة، والجاذبية، واللون. وبدلاً من ذلك فإن مجال هيجز يزيد من «سمنة» الجسيمات ويمدها بالكتلة. وعلى كل حال، فإن هذه الطريقة قد نجحت فحسب جزئياً. وهي فعلاً تفسر السبب في أنه قد تكون هناك كتلة للكواركات والإلكترونات والميونات والتاوات وجسيمات دبليو وزد، ثم تترك جسيمات النيوترينو بلا كتلة، ولكنها تتنبأ بأن الجلونات أيضاً ينبغي أن تكون بلا كتلة. ولما كانت قوة اللون ذات مدى قصير، فإننا لا نتوقع أنها ينبغي أن تكون بلا كتلة. وكما رأينا، فإن الجسيمات الثقيلة جداً هي عموماً التي تصاحب القوى ذات المدى القصير.

وإذا كان مجال هيجز له وجوده حقاً، فإنه لا بد وأن يظهر نفسه أحياناً كجسيمات. وكل مجالات الكم لها هذه الخاصية. على أن التجارب لم تكشف بعد عن أي دليل على وجود جسيمات هيجز.

ولعل أخطر الاعتراضات كلها هو أن ميكانيزم هيجز هذا قد تم إدخاله بطريقة مغرضة. فلا يوجد غير سبب واحد لافتراض وجود مجال هيجز: وهو أن النموذج المعياري لا يصلح إلا به. ونحن نحتاج حقاً إلى تبرير نظري أو تجريبي أفضل من ذلك.

وهناك أيضاً مشاكل أخرى مصاحبة للنموذج المعياري. وكمثل، فإنه لا يخبرنا عن السبب في أن الكواركات واللبتونات يأتي كل منها في ستة أنواع.

وأنا هنا أفترض أنه لا يوجد إلا ستة من كل، وعلى كل، فلو كان هناك المزيد فإن المشكلة تظل قائمة. وكمثل، فلو أن الفيزيائيين اكتشفوا أن هناك فعلاً ثمانية

* عندما تنتشر القوى خلال الفضاء، كثيراً ما يتحدث الفيزيائيون وقتها عن وجود مجال. وقد يظن غير العلميين أن هذا المفهوم قد يكون فيه بعض حشو لا يفيد. والحقيقة أنه جد مفيد. ويمكن العثور على نقاش ممتاز عن الدور الذي يلعبه مفهوم «المجال» في «تطور الفيزياء» لألبرت آينشتين وليو انفليد.

لبتونات وثمانية كواركات فسيكون من الضروري تفسير ذلك. وفوق هذا، فإن النموذج المعياري لا يوحد القوى. والوضع المثالي هو أننا نود أن تكون لدينا نظرية واحدة تفسر كل القوى التي في الطبيعة بدلاً من ثلاث نظريات.

والنموذج المعياري لا يخبرنا عن السبب في أن بعض القوى ينبغي أن تكون جد قوية بينما الأخرى جد ضعيفة. على أن هذا في الحقيقة مجرد أحد وجوه مشكلة التوحيد. ولو أمكن للعلماء توصيف كل القوى بنظرية واحدة، فإن هذه النظرية فيما يفترض سوف توفر الإجابة عن هذا السؤال.

وهكذا فمن الواضح تماماً أن النموذج المعياري له مشاكله. على أن هذا موقف ليس فيه ما يسوء بالذات. فالنظريات في الفيزياء كثيراً ما يكون لها مشاكلها، على الأقل فيما يتعلق بتلك النظريات التي يقع مكانها على تخوم العلم. ولو لم تكن هناك مشاكل، لتوقف التخمين النظري والبحث التجريبي. ولن يعرف الفيزيائيون ماذا يفعلون بعدها.

إن البحث العلمي يتكون من حل المشاكل. وعندما تكون المشاكل محيرة أقصى الحيرة يصبح من الممكن عندها أن يكون البحث مثمراً أكثر الإثمار، وأن تصبح الاكتشافات الناتجة مبهرة أكثر الإبهار. ونحن ينبغي أن نسعد لوجود المشاكل التي وصفتها. فلو لم توجد، لما كان هناك شيء يفعله الجيل التالي من فيزيائيي الجسيمات، وبدون ألغاز تتطلب الحل، فإنهم لن يكونوا قادرين على الاندفاع قدماً لتوسيع تخوم العلم.

[3]
الانفجار الكبير

ثمة إشعاع يغمر الأرض باستمرار وهو يسقط عليها من كل مكان في السماء. وهذا الإشعاع لا تتغير قط شدته. وأينما يتم قياسه، فإنه يكون موجوداً بشدة متساوية في كل ساعة من النهار أو الليل. كما أنه لا يتغير حسب الاتجاه. فالإشعاع الذي يأتي إلينا من اتجاه الدب الأكبر ليس بأقوى ولا بأضعف من الإشعاع الذي يأتي من مناطق السماء التي نرى فيها كوكبة الجوزاء أو كوكبة الشجاع أو حتى من المناطق التي ليس فيها كوكبات على الإطلاق. ولهذا الإشعاع خاصية أخرى فريدة. فهو لا يتميز عن الإشعاع الذي يبثه جرم كامل السواد (جرم افتراضي لا يعكس أي ضوء) عند درجة حرارة ٢ر٧ فوق الصفر المطلق.

والصفر المطلق هو أدنى درجة حرارة ممكنة. إنها درجة الحرارة التي تتوقف عندها كل الحركة الجزيئية. وهي تساوي -٢٧٣ س (درجات سلزيوس؛ وهذه الحرارة تساوي -٤٦٠ على تدريج فهرنهيت). وللتسهيل فإن العلماء كثيراً ما يشيرون إلى درجة الحرارة هذه على أنها صفر «ك» حيث «ك» ترمز لكلفن (على اسم عالم الفيزياء الاسكتلندي في القرن التاسع عشر اللورد كلفن). ومقياس حرارة سلزيوس وكلفن يتماثلان فيما عدا أن لكل منهما نقطة صفر مختلفة.

وأي شيء له درجة حرارة فوق الصفر المطلق سوف يبث إشعاعاً من نوع ما. والحقيقة أن هذا هو المبدأ الذي يعمل المصباح الكهربائي بناء عليه. فالضوء ينبعث عندما يسخن السلك إلى درجة حرارة عالية جداً. والأشياء الباردة تشع أيضاً. وطبيعي أن هذا الإشعاع ليس قوياً جداً، ولا يتم بثه في شكل ضوء مرئي. وبالتحديد، فإن الجرم الذي تبلغ درجة حرارته ٢ر٧ كلفن يبث موجات راديو قصيرة تعرف بالميكروويف.

ومن الطبيعي أن الإشعاع الميكروويفي الذي يسقط على الأرض لا تكون قوته كبيرة جداً. على أنها مما يمكن قياسه، بل ويمكن قياسها قياساً دقيقاً تماماً. ولا يحتاج العلماء إلا أن يوجهوا طبق راديو إلى السماء فيقيسوا إلكترونياً موجات الميكروويف التي تسقط عليه.

ولم يكن هناك قط أي خلاف مهم بين العلماء بشأن مصدر هذه الخلفية من الإشعاع الكوني الميكروويفي ذي الحرارة التي تبلغ ٧ر٢ درجة كلفن، وقد تم في ١٩٦٤ اكتشاف هذه الخلفية بواسطة الفيزيائي الأمريكي ـ الألماني أرنو بنزياس وعالم الفلك ـ اللاسلكي الأمريكي روبرت ويلسون. ولا يوجد إلا تفسير واحد معقول طرح ليفسر وجود هذه الخلفية. فهي من أعقاب توهج الانفجار الكبير الذي ولد به الكون منذ ما يقرب من ١٠ أو ٢٠ بليون سنة*. والكون في بادئ الأمر كان في حالة سخونة ومضغوطاً ضغطاً شديداً وهو يتوهج ساطعاً. وقد ظل منذ ذلك الوقت يتمدد ويبرد. والآن فقد برد الكون إلى درجة حرارة هي في المتوسط ٧ر٢ كلفن، وما كان ذات مرة إشعاعاً شديد التفجر خبا الآن إلى خلفية ميكروويف معتمة.

ووجود إشعاع الخلفية ليس هو الدليل الوحيد على أن الانفجار الكبير قد حدث. والحقيقة أن أول اكتشاف مهم يطرح أن الانفجار الكبير هو أصل الكون، قد تم في ١٩٢٩، أي بما يسبق اكتشاف خلفية الميكروويف بما يقرب من خمس وثلاثين سنة. ففي ذلك العام اكتشف الفلكي الأمريكي «إدوين هابل» أن الكون في حالة تمدد سريع، وأن المجرات التي فيه تندفع إحداها بعيداً عن الأخرى. وبالإضافة إلى ذلك فقد وجد هابل أنه كلما زادت المسافة بين إحدى المجرات والأرض، زادت سرعة تباعد المجرة.

ولست أقصد بالطبع أن ألمح بأن هابل قد اكتشف أن منظومتنا الشمسية هي مركز الكون. فالسبب في أن المجرات تبدو مندفعة بعيداً عن الأرض هو ببساطة أنها كلها تتراجع إحداها بعيداً عن الأخرى. وما لاحظه هابل هو ظاهرة يمكن لأي فلكي أن يراها وهو في أي مجرة في الكون.

* «البليون» هنا تستخدم بالمعنى الأمريكي أي ألف مليون وليس بالمعنى الأوروبي وهو مليون مليون.

وقد ابتكرت عدة مماثلات لتوضيح هذه النقطة. وكمثل، فإن للمرء أن يتصور أن كتلة من عجين فيه زبيب قد وضعت في فرن. وإذ ينتفخ الخبز متخمراً يتمدد العجين، وتتباعد كل حبات الزبيب إحداها عن الأخرى. وإذا كان هناك في أول الأمر حبتان من الزبيب قريبتين جداً إحداهما من الأخرى، فإن سرعة التباعد بينهما لن تكون كبيرة جداً. وإذا كانتا عند بدء انتفاخ الخبز تكادان أن تتلامسا، فإنهما ستظلان عند إخراج الخبز من الفرن وهما تكادان تتلامسان. ومن الناحية الأخرى، فإن المسافة بين حبات الزبيب على الجانبين المتقابلين من الرغيف ستزيد بسرعة أكبر كثيراً؛ وسرعة تباعد «مجرتين» بمثل هذا ستكون أعظم.

وهذا التمثيل هو أيضاً له حدوده. وعلى وجه الخصوص، فإننا يجب ألا نخدع فنتصور أن الكون له حدود تقابل حواف الرغيف. والواقع أنه لا توجد نقطة «ينتهي» عندها الكون. والحقيقة أن نفس مفهوم «حافة» الكون لا معنى له. ولو كان هناك وجود لحافة هكذا، فما الذي يقع وراءها؟ ولحسن الحظ، فإننا لسنا بحاجة لأن نتناول المفارقة المتضمنة في هذا السؤال. وكما سوف نرى، عندما أناقش دلالات نظرية اينشتين للنسبية العامة، فإن الكون لا حدود له، سواء كان متناهياً أم لامتناهياً.

الإزاحات الحمراء:

يترتب استنتاج واضح من اكتشاف هابل لتمدد الكون. فإذا كانت المجرات الآن تحلق مبتعدة إحداها عن الأخرى، فلا بد أن ثمة وقتاً كانت المجرات فيه متقاربة جداً. وإذا كان للمرء أن يستقرئ بعيداً إلى الوراء هكذا، فإنه ما من سبب يمنع الواحد من أن يلقي النظر وراء لما هو أبعد. وهناك فيما يفترض وقت كانت المجرات فيه لم تخلق بعد، حيث كانت المادة موجودة في حالة انضغاط شديد. ومن الواضح أنه لو أمكن للمرء أن يحسب متى كان ذلك، فسيصبح من الممكن تحديد تاريخ لنشأة الكون.

ولسوء الحظ، فقد ثبت في النهاية أن هذا الحساب يصعب إجراؤه. ورغم أنه قد مر ما يزيد عن نصف القرن منذ اكتشاف هابل اكتشافه العظيم، إلا أن الفلكيين مازالوا لا يتفقون على السرعة التي يتمدد بها الكون. وكنتيجة لذلك فإن هناك

قدراً كبيراً من عدم اليقين فيما يتعلق بمقدار الوقت الذي انقضى منذ البداية. وقد أمكن حسب مجموعة من الافتراضات إعطاء الكون عمراً يبلغ صغره ٧ بلايين سنة. وثمة مجموعة افتراضات أخرى تؤدي إلى استنتاج أن عمر الكون هو ٢٥ بليون سنة. ويبدو أن أحسن ما يمكننا فعله هو أن نقدر الرقم الحقيقي بأنه «فيما يحتمل» يقع في زمن ما بين ١٠ إلى ٢٠ بليون، إلا أنه قد يثبت في النهاية، بما يمكن تصوره، أنه قد يكون أكثر من ذلك شيئاً أو أقل شيئاً.

والجزء الأكبر من عدم اليقين ينشأ عن مشاكل تتعلق بقياس بعد المجرات. فهذه القياسات صعبة صعوبة بالغة، ولا يعرف منها على وجه الدقة إلا مسافات بعد المجرات القريبة جداً. ومن الممكن قياس سرعة ارتداد المجرات بدقة كبيرة. أما تحديد سرعة التمدد (وبالتالي عمر الكون)، فهذا يتطلب بالضرورة معرفة كلا المقدارين: السرعة والمسافة.

ولحسن الحظ فإن المشكلة ليست جد خطيرة كما قد تظن. فالتساؤل عما إذا كان عمر الكون هو ١٠ بلايين سنة أو ١٥ بليون أو ١٨ بليون، ليس في الواقع أمراً عظيم الأهمية. وأياً ما يكون عمر الكون، فإن ديناميات التمدد ستكون هي نفسها. ولو اكتشف الفلكيون في النهاية دليلاً يتيح لهم استنتاج أن أحد الأرقام هو فيما يحتمل أكثر دقة من الأرقام الأخرى، فإنهم إذن في أسوأ الاحتمالات سيكون عليهم أن يمطوا أو يضغطوا المدى الزمني الذي كانوا يستخدمونه.

وبالإضافة إلى ذلك، فحتى إذا لم يكن من الممكن أن نقول بدقة ما هي مسافة بعد إحدى المجرات، فإن المسافة النسبية يمكن قياسها بدقة بالغة. وكمثل، فليس من مشكلة في تحديد أن المجرة (ب) تبعد عن الأرض بمسافة هي ضعف بعد المجرة (أ).

والسبب في أنه يمكن القيام بذلك هو أنه إذا كان تمدد الكون متسقاً على المسافات البعيدة ـ وما من أحد قد اكتشف بعد أي دليل ينفي ذلك ـ فإن المسافة لا بد وأن تكون على علاقة وثيقة بمقدار يسمى بالإزاحة الحمراء. وفي الحقيقة، فإنه عندما تكون المسافات ليست كبيرة جداً يكون المقداران متناسبين. وتضاعف الإزاحة الحمراء يدل على زيادة المسافة بمثلين.

والضوء الآتي من كل المجرات ينزاح في اتجاه الأحمر، وذلك فيما عدا تلك المجرات القريبة جداً. وسبب ذلك بسيط جداً. فكما سبق أن رأينا، فإن الضوء

يتكون من موجات كهرومغناطيسية. وهذه الموجات لها ذروات وقرارات تماثل ذروات وقرارات موجات المحيط. والمسافة ما بين ذروتين متتاليتين أو قرارين متتاليين تسمى طول الموجة. وعندما يكون أحد مصادر الضوء ساكناً، فإن طول الموجة يظل ثابتاً. ولكن لنفترض أن مصدر ضوء يتحرك تجاهنا (أو أننا نتحرك تجاهه، فالمهم وحسب هو الحركة النسبية). ستجعل هذه الحركة ذروات الأمواج المتتالية تتقارب معاً. وكنتيجة لذلك سيصبح طول الموجة أصغر. ولنفرض أن مصدر الضوء بدلاً من ذلك سيتحرك بعيداً عنا. من السهل أن نرى أنه في هذه الحالة ستصبح ذروات الموجات أكثر تباعداً. وإذ يبث المصدر كل ذروة متتالية، فإنه سيكون أبعد قليلاً. وهكذا فإن طول الموجة سيصبح أكبر.

وأطول الموجات في الطيف المرئي هي ما ندركه على أنه اللون الأحمر، بينما أقصر طول مرئي هو اللون البنفسجي أو الأزرق. والضوء الذي يبثه مصدر يتحرك سريعاً تجاهنا سيصبح إذن أكثر زرقة، أما الضوء الذي يأتي من مصادر تتحرك بعيداً عنا، فإنه سيصبح محمراً. وحيث إن كل مجرات الكون، فيما عدا استثناءات قليلة، تتحرك بعيداً عن الأرض، فإن ضوءها ينزاح إلى الأحمر.

ولا يعني هذا أن الضوء الآتي من المجرات البعيدة جداً يجب أن يبدو أحمر للعين (أو للوح التصوير الضوئي) بينما الضوء الآتي من المجرات الأقرب يظل يبدو أكثر طبيعية. فالأمور أكثر تعقداً بعض الشيء. فالمجرات البعيدة لا تبدو مطلقاً حمراء، ذلك أن الضوء الأزرق حين يصبح أحمر، فإن الإشعاع من الجزء فوق البنفسجي من الطيف الذي كان غير مرئي، يصبح أزرق. والضوء الذي يأتي إلينا من مجرة بعيدة سيكون لديه إذن مجموعة متكاملة من أطوال الموجات، وسيكون المظهر البصري للمجرة مشابهاً جداً لمظهر مجرة هي أقرب كثيراً.

وهكذا فمن الواضح أنه يستحيل قياس الإزاحة الحمراء بأن ننظر إلى لون الشيء. ورغم هذا، فإن من الممكن قياس الإزاحات الحمراء بدقة بالغة. فكل عنصر كيماوي يبث عند تسخينه ضوءاً له أطوال موجات معينة. وحيث إن الضوء الذي يأتي إلينا من الأجرام الفلكية البعيدة يكون مصدره من النجوم الحارة أو من السحب المتوهجة التي تتكون من الغاز ما بين النجوم، فإنه يمكننا أن نحدد سرعة ارتداد الجرم البعيد، وليس هذا فحسب وإنما أيضاً يمكننا أن نحدد تركيبه

الكيماوي. فيمكننا مثلاً أن نعرف مقدار الهليوم الموجود، وذلك بأن ننظر إلى أطوال الموجات (المزاحة للأحمر) التي هي بمثابة «التوقيع» المميز للعنصر.

هب أننا نراقب سيارتين تتحركان بسرعة ٥٠ كيلومتراً في الساعة. وهب بالإضافة إلى ذلك أنهما كلتاهما قد بدأتا من مدينة تبعد ٥٠ كيلومتراً. وأخيراً تخيل أن إحداهما ظلت تتحرك بنفس السرعة منذ أن بدأ سائقها تحركه، أما الأخرى فقد تحركت في البداية بسرعة ٨٠ كيلومتراً في الساعة، ولكنها ما لبثت بعدها أن هبطت سرعتها. أي السيارتين ظلت زمناً أطول ؟ من الواضح أنها السيارة التي ظلت محتفظة بسرعة ثابتة. أما تلك التي هبطت سرعتها فإنها كانت تتحرك بأسرع فيما مضى. وبالتالي فإنها قد قطعت المسافة في فترة زمن أقصر.

وبالمثل فإن حساب الزمن الذي انقضى منذ بداية الكون يعتمد على عاملين: السرعة التي يتمدد بها الكون الآن، والدرجة التي قللت بها الجاذبية من سرعة التمدد. وكلما زاد ما يقع من «كبح» بالجاذبية، كان عمر الكون أصغر.

ولو عرفنا مقدار المادة الموجودة في الكون، سيكون من الممكن حساب تأثيرات هذا الكبح بالجاذبية. ومرة أخرى فإن العلماء لم يتمكنوا من قياس كثافة مادة الكون قياساً مضبوطاً. وكما سنرى في فصول تالية، يبدو أن في الكون صنوفاً من المادة لا يفهم العلماء طبيعتها. وبالتالي، فمع أنه توجد أسباب نظرية للاعتقاد بأن الكون له كثافة نوعية معينة للمادة (وهذه الأسباب ستناقش أيضاً في فصول تالية)، إلا أن هناك هكذا عدم يقين آخر يدخل على تقديراتنا لعمر الكون.

ومع كل، فإنه من المفيد أن نتخذ رقماً ما كتقدير للزمن الذي انقضى منذ الانفجار الكبير. وبالتالي فسوف أتخذ رقم ١٥ بليون سنة. ومن الممكن أنه أثناء السنوات القليلة التالية، سوف يتبين أن هذا الرقم خطأ. وقد يجد علماء الفلك وسيلة ما للحصول على تقدير أدق كثيراً مما لدينا الآن. وعلى كل، فإنهم لو فعلوا ذلك، فسيكون من غير المحتمل أن الرقم الجديد سيقل كثيراً أو يزيد كثيراً عن الرقم الذي اخترته اعتباطياً إلى حد ما. فاتخاذ رقم ١٥بليون سنة كعمر للكون يتوافق مع ملاحظاتنا عن تمدد الكون ويتوافق أيضاً مع قياس عمر بعض العناصر المشعة؛ و١٥ بليون سنة هي أيضاً أقل قليلاً من الرقم الذي سجل لأعمار بعض النجوم القديمة جداً. على أن تقديرات هذه الأعمار قد روجعت في السنين الأخيرة، وقد تكون

هذه النجوم أصغر عمراً مما اعتقده الفلكيون. وعلى أي حال، فلست أزعم أي مزاعم بشأن دقة هذا الرقم، وإذا ثبت في النهاية أن عمر الكون أكبر ببضعة بلايين أو أصغر ببضعة بلايين، فإن هذا لن يكون له أي تأثير مهم في المناقشات التالية.

الهليوم والديتريوم الأوليان:

ليس من اللازم أن يكون الشعاع آتياً من المجرات حتى يزاح إزاحة حمراء. وإنما من الضروري فحسب أن ينتقل الشعاع خلال الكون المتمدد لفترات كافية من الزمان. وهكذا فإننا نتوقع أن موجات الراديو التي تصنع خلفية الميكروويف الكونية ينبغي أن تكون هي أيضاً مزاحة للأحمر. وموجات الميكروويف هي إشعاع كهرومغناطيسي، وهي تتعرض لنفس التأثيرات التي يتعرض لها الضوء. والحقيقة أن هذا هو ما يحدث بالضبط. فخلفية الميكروويف هي في الحقيقة ضوء تم إنتاجه من كرة النار في الانفجار الكبير منذ ١٥ بليون سنة، وظل هذا الضوء ينتقل في الفضاء منذ ذلك الوقت. فهذه الخلفية هي ضوء تم بثه بعد بدء الكون بما يقرب من نصف مليون سنة.

وقبل هذا الوقت، كان الكون مليئاً بإلكترونات حرة تتحرك بسرعة بالغة لا تسمح بأن تأسرها النوى لتشكل ذرات. وهذه الإلكترونات تتفاعل مع أي ضوء يأتي في طريقها، وتمتصه وتستطيره وتعيد بثه في شتى الاتجاهات المختلفة. وتأثير هذا كله هو إنتاج نوع من الضباب الكوني. ولو كان هناك وقتها أي راصدين ذوي وعي، لوجدوا أن الكون تقريباً غير شفاف، وأنه كان مليئاً بوهج ساطع. وبعدها، حين تمدد الكون، هبطت حرارته. وحدث للكون نفس الشيء الذي يحدث للغاز عند انطلاقه من صفيحة ايروسول. فالغاز أيضاً يبرد إذ يتمدد، وكنتيجة لذلك فإن الصفيحة كثيراً ما يُحس ببرودتها. وإذ يبرد الكون، فإن الإلكترونات تتخلى عن بعض طاقتها الفائضة وتبدأ في تكوين ذرات. وإذ تفعل ذلك يبدأ الضباب يزول، ويصبح الكون شفافاً، وتتوقف المادة والإشعاع عن أن يتفاعل أحدهما مع الآخر أي تفاعل ذي أهمية.

وهكذا فإن ملاحظة خلفية الميكروويف تسمح إذن للعلماء بأن يمعنوا النظر وراء إلى زمن هو بعد البداية بما يقرب من نصف مليون سنة، وهذا هو التاريخ التقريبي

الذي حدث عنده لآخر مرة أن تفاعلت مع المادة معظم موجات الميكروويف التي نرصدها الآن. وبالطبع فإن العلماء يودون لو أمكنهم أن ينظروا وراء لما هو حتى أبعد من ذلك - وعلى كل، فإنه إذا كان يمكننا النظر وراء لهذا المدى البعيد، فلماذا لا نحاول أن نجد وسيلة لأن ننظر حتى لما هو أبعد؟.

وكما ثبت في النهاية فإن هناك وسائل يمكن بها فعل ذلك. ومن الواضح أن هذه الوسائل لا تعتمد على ملاحظة أي نوع من الإشعاع. ومهما كان نوع ما نلاحظه فإننا لن نستطيع قط أن ننظر لبعيد جداً من خلال الضباب الكوني. على أن الميكروسكوبات التي يستخدمها العلماء لفحص الأشياء الصغيرة جداً لا تستخدم الضوء دائماً. فهناك مثلاً الميكروسكوبات الإلكترونية. وهكذا، فربما أمكننا أن نحاول النظر إلى الوراء في الزمان باستخدام نوع ما من «التليسكوبات» هو أيضاً يستخدم جسيمات المادة.

وليست هذه الفكرة جنونية كما تبدو - فهي في الحقيقة جد منطقية. والوسائل المستخدمة للنظر وراء إلى الأمنة القديمة لا تستخدم أي شيء يشبه التليسكوب. على أنها تتيح لنا أن نصل إلى استنتاجات بشأن الأحداث التي وقعت عندما كان عمر الكون صغيراً جداً.

وهكذا يتفق أنه يوجد في الكون مواد لا يمكن أن تكون قد تخلقت إلا في الانفجار الكبير. والمشاهدات التي يجريها العلماء عن مدى وفرة هذه المواد الآن تتيح لهم الوصول إلى استنتاجات بشأن ما وقع عندما كان عمر الكون صغيراً جداً. وهناك على وجه الخصوص تلك المشاهدات عن مدى وفرة عناصر الهليوم والليثيوم والديتريوم (أحد أشكال الهيدروجين)، فهي مما يتيح للعلماء أن «يبصروا» وراء حتى زمن هو حوالي الدقيقة بعد البداية.

والكون فيه ما يقرب من نواة واحدة من الهليوم لكل عشر نوى من الهيدروجين. والآن، فإن نوى الهليوم أثقل من نوى الهيدروجين بما يقرب من أربعة أمثال. فكل نواة واحدة من نوى الهليوم مصنوعة من بروتونين ونيوترونين (لنذكر أن البروتونات والنيوترونات تتساوى تقريباً في الوزن)، بينما نواة الهيدروجين العادية ليست إلا بروتوناً واحداً. والهيدروجين والهليوم هما إلى حد كبير أكثر العناصر وفرة في الكون. وكل ماعدا ذلك يمكن أن ينظر إليه على أنه لا يتعدى أن

يكون بعض شوائب كونية (بما في ذلك معظم العناصر التي تصنع الأرض وسكانها). فالعناصر الأخرى غير الهيدروجين والهليوم موجودة بكميات جد صغيرة حتى أنه يصح لنا أن نقول إن الكون فيه تقريباً من الهليوم ما يزيد شيئاً عن ٢٥ في المائة بالوزن، وفيه من الهيدروجين ما يقل شيئاً عن ٧٥ في المائة.

هذا وقد قاس الفلكيون مدى وفرة الهليوم في كل مجرتنا، وفي المجرات الأخرى أيضاً. وعثروا على الهليوم في النجوم كبيرة السن، وفي النجوم ذات السن الصغير نسبياً، وفي الغاز ما بين النجوم، وفي تلك الأجرام البعيدة المعروفة بالكوازارات. ووجدوا أيضاً أن نوى الهليوم هي إحدى مكونات الأشعة الكونية التي تسقط على الأرض («الأشعة» الكونية ليست في الحقيقة نوعاً من الإشعاع، فهي تتكون من جسيمات سريعة الحركة أنواعها مختلفة عديدة). ويبدو أن اختلاف المكان الذي يعثر فيه على الهليوم لا يؤدي إلى اختلاف الأمور كثيراً. فوفرته النسبية لا يبدو قط أنها تتباين كثيراً. وقد يكون الهليوم في بعض الأماكن أكثر هوناً، وفي أماكن أخرى أقل هوناً، ولكن نسبة نوى الهليوم إلى نوى الهيدروجين تظل دائماً هي نفسها تقريباً.

والهليوم يتخلق في النجوم، والحقيقة أن التفاعلات النووية التي تحول الهيدروجين إلى هليوم هي المسؤولة عن معظم الطاقة التي تنتجها النجوم. على أن مقدار الهليوم الذي يمكن إنتاجه هكذا هو مما يمكن حسابه، وقد ثبت في النهاية أنه لا يزيد عن نسبة مئوية صغيرة. فالكون لم يتواجد الزمن الذي يكفي في طوله لأن يزيد هذا الرقم عن زيادة ذات مغزى. وبالتالي، فإنه إذا كان الكون الآن يتكون من الهليوم بما يزيد بعض الشيء عن ٢٥ في المائة، فلا بد إذن من أن نسبة الهليوم فيه كانت تقارب ٢٥ في المائة عند وقت قريب من بدايته.

وليس مما يصح أن نفترض أن الكون قد خلق وفيه هليوم بنسبة ٢٥ في المائة. فعندما كان عمر الكون أقل من دقيقة واحدة، لم يكن من الممكن وجود أي هليوم فيه. فالحسابات تدل على أنه قبل هذا الوقت كانت درجات الحرارة بالغة الارتفاع وكانت جسيمات المادة تتحرك فيما حولها بسرعة بالغة. ولو حدث على نحو ما أن تقاربت معاً مجموعة من النيوترونات والبروتونات لتكون نواة هليوم، فإن هذه النواة ستصطدم بالجسيمات الأخرى في التوّ تقريباً، لتنفجر بدداً.

فالهليوم لا يمكن أن يوجد إلا بعد نقطة الدقيقة الواحدة. فالكون عند هذا الوقت يكون قد برد بما يكفي لأن تتمكن النيوترونات والبروتونات من الالتصاق معاً. على أن التفاعلات الكيماوية التي تؤدي إلى تكوين الهليوم لم تستمر إلا لزمن قصير نسبياً. فمع استمرار تمدد الكون، زاد انخفاض متوسط الطاقة في الجسيمات، وأصبحت المادة أكثر تشتتاً. وعندما صار عمر الكون دقائق معدودة، توقف إنتاج الهليوم بالفعل.

إذن، فإن ما نلاحظه من وفرة الهليوم، يوفر إثباتاً إضافياً لفكرة وقوع الانفجار الكبير، ويتيح لنا أيضاً أن ننظر وراء إلى الزمان الذي كان عمر الكون فيه دقائق معدودة. على أن هناك دليلاً آخر يمدّنا بإثبات أقوى لفكرة أنه قد حدث انفجار كبير. وهذا الدليل هو وجود الديتريوم، وهو نوع من الهيدروجين.

ونواة الهيدروجين العادية تتكون من بروتون واحد. ومن الناحية الأخرى فإن الديتريوم يتحد فيه بروتون ونيوترون معاً. والديتريوم نوع من الهيدروجين وليس عنصراً آخر، لأن إضافة نيوترون إلى النواة لا تغير من خواصها الكيميائية. فالنواة تظل لها شحنة من +١، وتظل تكوّن ذرة فيها إلكترون واحد.

ولا يوجد الديتريوم بوفرة بالغة في كوننا. فالكون يوجد فيه حوالي ذرة ديتريوم واحدة لكل ثلاثين ألف ذرة من الهيدروجين العادي. على أن وجود الديتريوم، حتى وهو في كميات جد صغيرة، يمد العلماء بدليل مهم على الانفجار الكبير. فالديتريوم بخلاف الهليوم لا يمكن صنعه في النجوم. ونواة الديتريوم هشة نسبياً، ولا يمكن تخليقها أو حتى وجودها في النجوم. فدرجات الحرارة العالية في المناطق الداخلية من النجوم سينتج عنها أن تتحطم نوى الديتريوم بدءاً بمجرد تكوينها. والمكان الوحيد الذي يمكن تخليق الديتريوم فيه هو في الانفجار الكبير.

الكون: مفتوح أو مغلق

نظرية النسبية العامة التي طرحها آينشتين في ١٩١٥ هي نظرية عن الجاذبية ناجحة أقصى النجاح وثابتة ثبوتاً أكيداً. وقد تم خلال الستينيات والسبعينيات إجراء تجارب عديدة من أنواع مختلفة لاختبار تنبؤات النظرية. واجتازت النسبية العامة الاختبار في كل حالة ناشرة ألويتها المنتصرة.

على أن النسبية العامة، مثلها مثل كل النظريات المعروفة، تنهار عند ظروف متطرفة معينة. وكما سنرى، فيما بعد، فإنها لا تستطيع أن توصّف بدقة تلك الأحداث التي وقعت في وقت مبكر جداً من تاريخ الكون، كما مثلاً أثناء أول ١٠-٤٣ من الثانية (وهذا ليس رقماً اعتباطياً، وسوف نناقش أهميته فيما بعد). ولا يمكن أن يقوم بذلك إلا نظرية كمية للجاذبية. وكما سبق أن رأينا فإن نظرية كهذه لم تنشأ بعد. على أن هناك أسباباً عديدة للإيمان بأن نظرية آينشتين تعطينا صورة دقيقة للكون ككل. ورغم أن هناك مشكلات تنشأ عندما تحاول النظرية أن تتعامل مع ما هو صغير جداً، أو مع الأزمنة القديمة جداً، إلا أن النسبية العامة فيما يبدو تعطي نتائج دقيقة تماماً عندما تتعامل مع ما هو كبير جداً، بما في ذلك الكون نفسه.

وعلى وجه التحديد، فإن نظرية آينشتين تنبؤنا بأن الكون يمكن أن تكون له ثلاثة أشكال مختلفة. فهو إما مفتوح أو مغلق أو مسطح. على أن النظرية لا تخبرنا عن أي من هذه الإمكانيات الثلاث هو ما تكون الحال عليه. فهذا أمر ينبغي تقريره تجريبياً. ومع كل، فإن النسبية العامة تخبرنا بالفعل بأن السؤال عما إذا كان الكون مفتوحاً أو مغلقاً أو مسطحاً، تعتمد إجابته على مقدار المادة التي يحويها الكون.

والكون المغلق هو كون متناهٍ، ولكن ليس له حدود، إنه المثيل ذو الأبعاد الثلاثة لسطح كرة ذي بعدين. ولا فائدة من محاولة تصور ما سيبدو عليه المكان المنحني في كون كهذا. بل وحتى الفيزيائيون النظريون لا يستطيعون ذلك. على أن كوناً كهذا يمكن توصيفه رياضياً، ويمكن استقصاء خواصه بالتفصيل.

وتوصيف كون كهذا رياضياً هو مهمة أقل إرعاباً مما قد نتصوره. وعلى وجه الخصوص فإن مفهوم المكان المنحني ليس بالمفهوم جد المبهم. فهو يعني فحسب أن هندسة المكان تختلف نوعاً عن الهندسة الأقليدية التي نتعلمها في المدرسة الثانوية. وكمثل فإن هناك نظرية في الهندسة الأقليدية تقول إن مجموع زوايا المثلث يجب أن يساوي ١٨٠°، وهذا صحيح بالنسبة لأي مثلث يرسم على سطح مسطح. على أن هذا لا يصح بالنسبة لمثلث مرسوم على سطح منحنٍ، مثل سطح الأرض. والحقيقة أن أحد سبل البرهنة على أن الأرض ليست مسطحة هو قياس الزوايا بين ثلاثة أشياء بعيدة جداً، ثم حساب مجموعها. وحيث أن هذا المجموع

أكبر من ١٨٠°، فإن سطح الأرض هو لا بد منحنٍ.

وهندسة المكان المنحني ذي الأبعاد الثلاثة هي مماثلة لذلك تماماً. فإذا كان المكان منحنياً، فإن زوايا المثلث المرسوم بين مراكز ثلاث مجرات لن تكون قط مساوية بالضبط لـ ١٨٠° وبالطبع فإن هذه تجربة لا يمكن إجراؤها عملياً. وعلى كل فإننا يمكننا أن نقيس فحسب زاوية واحدة. فنحن لا يمكننا أن نسافر إلى المجرتين الأخريين لنجري نفس القياسات هناك. كما أنه إذا لم تكن هاتان المجرتان بعيدتين بعداً كبيراً جداً، فإن التأثير لن يكون كبيراً بأي حال. ومن الضروري بدلاً من ذلك إيجاد طريقة ما أخرى لقياس انحناء المكان في كوننا.

وقبل أن أستمر هنا، لعله من الأفضل أن أستطرد بعض الشيء حتى أوضح إحدى النقاط توضيحاً كاملاً. إن الكون المغلق هو كون المكان فيه ينحني على نفسه ثانية، ولكن المكان لا ينحني في بعد ما مكاني رابع. ففي النسبية كما في فيزياء نيوتن، ليس للمكان إلا ثلاثة أبعاد. والعلماء يتحدثون بالفعل عن مكان - زمان ذي أربعة أبعاد. وهم يفعلون ذلك لأن المعادلات الرياضية المصاحبة للنسبية تصير معقدة بما يثير اليأس عندما نحاول فصل بعد الزمان عن أبعاد المكان الثلاثة. أما في الواقع، فإن الأبعاد في عالم النسبية تماثل الأبعاد في كون نيوتن.

ورغم أن الكون المغلق متناهٍ، إلا أنه «ليس» صحيحاً أنك لو بدأت التحرك في أي اتجاه بعينه، وتحركت مسافة طويلة بما يكفي، فإنك في النهاية ستعود إلى نقطة البداية من اتجاه آخر. فالكون المغلق لا يستمر وجوده للزمن الكافي لإتمام الطواف من حوله. بل وحتى شعاع الضوء لن يتمكن من أن ينتقل طول الطريق كله من حول الكون قبل أن يتقلص هذا الكون.

والكون المغلق يكون متوسط كثافة المادة فيه بحيث يزيد عن قدر معين. وقد حسبت هذه الكثافة على أنها حوالي ٥×١٠^{-٢٧} كيلوجرام للمتر المكعب (أو تقريباً ثلاث ذرات هيدروجين للياردة المكعبة). وإذا كانت كثافة المادة أكبر من ذلك، فإن متوسط انحناء المكان يكون كبيراً بما يكفي لانغلاق الكون.

ووجود المادة بكثرة هكذا له تأثير آخر. فهو سيخلق قوى جاذبية كابحة ستؤدي في النهاية إلى توقف تمدد الكون. وحيث أن الجاذبية لن تتوقف عن الفعل عندما يحدث ذلك فإن طوراً من الانكماش سوف يبدأ. وسيصبح الكون أصغر

وأصغر (الكون المغلق له حجم بالفعل وإن لم تكن له حدود) حتى يصل الأمر بكل المادة التي يحويها إلى أن تنسحق معاً في انسحاق كبير.

أما الكون المفتوح فإن توصيفه أسهل بعض الشيء. وحيث أن المكان لا ينغلق على نفسه، فإن كوناً كهذا سيكون لامتناهياً في مداه. وبالإضافة، فإن الكون المفتوح يواصل التمدد إلى الأبد، حيث أن كثافة المادة ليست بالقدر الكافي لوقف التمدد. والجاذبية قد تبطئ نوعاً ما من تباعد المجرات، ولكنها لن توقف ذلك قط إيقافاً بالكامل.

وعند هذه النقطة فقد نجد ما يغرينا بأن نسأل «ولكن كيف يمكن لكون لامتناهٍ أن يتمدد؟». إلا أن هذا السؤال تتم الإجابة عنه مباشرة بمجرد أن نتذكر ما يعنيه «التمدد» في هذا السياق. فالكون الذي «يتمدد» هو كون تتحرك فيه المجرات لتتباعد إحداها عن الأخرى. ومن الواضح أن هذا يمكن أن يحدث في كون مفتوح مثلما يمكن أن يحدث في كون مغلق. فالكون اللامتناهي الذي يتمدد هو ببساطة كون تصبح المادة فيه أكثر تشتتاً باطراد.

وثمة نقطتان إضافيتان لعلهما مما ينبغي تأكيده. والأولى، هي أن الكون المفتوح «ليس» كوناً فيه عدد ما متناهٍ من المجرات يتمدد في خواء موجود من قبل. فالكون المفتوح كما توصفه نظرية آينشتين هو لامتناهٍ في مداه، ويحوي قدراً لامتناهياً من المادة. ومن الطبيعي أن الحديث عن مقادير لامتناهية من أي نوع هو حقاً انشغال بتجريدات رياضية. وحتى لو تحدد أن الكون هو مفتوح فيما يبدو، فإننا لن نتمكن قط من اكتشاف المجرات التي تبعد بمسافة لانهائية، ولا يمكن قط أننا سنتأثر بها بأي طريقة كانت.

والنقطة الأخرى التي يجب توضيحها، هي أنه سواء كان الكون مفتوحاً أم مغلقاً، فإن الانفجار الكبير «لم» يكن انفجاراً يدفع بالمادة إلى مكان موجود من قبل. وعلى العكس، فإن الانفجار الكبير هو حدث تم وقوعه «في كل مكان». وفيما يعرض، فإن هذا هو السبب في أن إشعاع الميكروويف الناجم عن كرة نار الانفجار الكبير يسقط على الأرض من كل الاتجاهات. فمنطقة المكان التي وقع فيها الانفجار الكبير ليست في موضع ما محدد على بعد بلايين من السنوات الضوئية، وعلى العكس، فإنها في كل ما حولنا.

أما الكون المسطح فهو أبسط كون في الوصف، فهو كون كثافة المادة فيه مساوية بالضبط للكثافة الحرجة. وبكلمات أخرى فإن الكون المسطح يتأرجح على الخط الفاصل ما بين الكون المفتوح والكون المغلق. والكون المسطح يكون متوسط انحناء المكان فيه هو صفر، وتكون الهندسة فيه أقليدية. ومجموع زوايا المثلث فيه يساوي ١٨٠°، أو على الأقل سيكون هكذا إذا كان المثلث كبيراً كبراً كافياً بحيث يكون متوسط التغيرات الموضعية في انحناء المكان هو لا شيء.

والكون المسطح هو لامتناهٍ مثل الكون المفتوح. وهو يختلف عن الكون المفتوح في أن تمدده وإن كان لا يتوقف قط، ولكنه في النهاية يصبح تمدداً بطيئاً بدرجة لا يمكن تمييزها عن الصفر.

ويبدو هذا تمييزاً رهيفاً، وتوضيح هذه النقطة بمثال لن يكون بالفكرة السيئة. هيا نتخيل أن عالم فلك يرصد تباعد المجرات في زمن ما في المستقبل بعد آلاف البلايين من السنين. ويتفق الآن أن ثمة أسباباً قوية للاعتقاد بأنه عند هذا الوقت لن يظل هناك وجود لا للمجرات ولا للحياة الواعية. ولكن حيث أن هذا مجرد خيال، فنحن يمكننا أن نتخيل أي شيء نريده.

وإذا كان هذا الراصد في المستقبل البعيد يعيش في كون مفتوح، فسيكون في إمكانه دائماً أن يقول إن التمدد لا يزال مستمراً. وسوف تكون سرعة تباعد المجرات أبطأ، ولكن الظاهرة لا تزال مما يمكن إدراكه*. ومن الناحية الأخرى، إذا كان عالمنا الفلكي هذا يعيش في كون مسطح، فإنه قد لا يستطيع أن يحدد ما إذا كان هناك أي تمدد أم لا. وسرعة التمدد في الكون المسطح لا تصل قط إلى الصفر بالفعل، وإنما هي تصبح دائماً أصغر وأصغر بمضي الوقت. وفي النهاية تصبح سرعة التمدد صغيرة جداً بحيث لا تستطيع حتى أكثر الأجهزة دقة أن تقيس هذه السرعة.

* إنني أدرك أن هناك تعقيدات تنشأ عندما يكون الكون مفتوحاً، ولكن هذا يحدث فحسب عندما يكون الكون مفتوحاً بقدر بسيط (أي وهو قريب جداً من أن يكون مسطحاً). على أنني سأتجاهل هذه الإمكانية حتى لا أدخل على محاجتنا تمييزات رهيفة جد كثيرة.

من مشاكل الانفجار الكبير:

ثمة ملمح جد مدهش لهذا الكون الذي نعيش فيه. فهو تقريباً يكاد يكون كوناً مسطحاً. وتبين المشاهدات أن كثافة المادة في الكون هي في الغالب المؤكد تزيد عما يقرب من عُشر واحد من المقدار الحرج، وهي أيضاً في الغالب المؤكد أقل من عشرة أمثال هذا الرقم.

والنجوم توفر حوالي ٢ في المائة من الكثافة الحرجة، وهناك دليل غير مباشر على وجود كتلة ذات مقدار له اعتباره هي غير مضمنة في كتلة النجوم (وسوف أستعرض الدليل على وجود هذه الكتلة فيما بعد). وهكذا فإن مقدار العُشر كحد أدنى يبدو معقولاً. وبالمثل، فإن الكثافة الفعلية للمادة لا يمكن أن تكون أكثر كثيراً من عشرة أمثال ذلك. وإذا كان ما يحويه الكون من المادة هو بهذا القدر، فإننا يمكننا بكل تأكيد أن نكتشف عن وجودها.

وأن نكتشف أن ثمة مقداراً ما يساوي قيمة ما حرجة بعامل نقص أو زيادة من عشرة، فإن اكتشافاً كهذا لن يعدّ في معظم الأحوال من باب الصدف المدهشة على وجه الخصوص. وكمثل، فلو أن فريق كرة كان متوسط تهديفه هو ٢٠ نقطة في كل مباراة، فإننا لن ندهش تماماً لو اكتشفنا أن نقاط التهديف في المباراة الأخيرة هي ما بين النقطتين والمائتي نقطة.

ومع كل، فنحن نجد في حالة الكون أن كثافة المادة كما رصدت هي قريبة من القيمة الحرجة قرباً لافتاً للنظر. والسبب هو أن النسبة التي بين الكثافة الواقعية والكثافة الحرجة تتغير مع تطور الكون. وإذا كان الفارق الآن هو أقل من جزء من عشرة، فلا بد وأنه كان أصغر من جزء من 10^{15} عندما كان عمر الكون ثانية واحدة.

والنسبة بين الكثافة الفعلية والكثافة الحرجة، تصبح في الكون المفتوح أصغر وأصغر بمرور الوقت. وإذ يتمدد الكون وتصبح المادة أكثر تشتتاً، فإن شد الجاذبية بين المجرات يصير أضعف. كما أن تأثير الكبح بفعل المادة الموجودة في الكون يصير أقل وأقل شدة. وإذا كان الكون مثلاً فيه أصلاً ٩٥ في المائة من الكثافة الحرجة، فإن النسبة ستهبط سريعاً إلى ٥٠ في المائة، ثم إلى ٢٥ في المائة، ثم ١٠ في المائة، وهلم جراً.

أما الكون المغلق فيحدث فيه تأثير بالعكس، حيث تمارس الجاذبية تأثيراً كابحاً هو أكبر مما يحتاجه الأمر بالفعل. وتصبح النسبة بين الكثافة الفعلية والكثافة الحرجة أكبر وأكبر. ويحدث هذا حتى لو كان الكون يتمدد، ذلك أن الكثافة الحرجة ليست ثابتة، فهي مقدار يتعلق بسرعة التمدد.

وهكذا فنحن فيما يبدو موجودون في كون من نوع قليل الاحتمال جداً، كون تم ضبطه الدقيق بدقة من جزء من $١٠^{١٥}$ عند زمن هو ثانية واحدة بعد الانفجار الكبير. والحقيقة، أن هذا الضبط الدقيق كان حتى أدق كثيراً في الأوقات الأسبق. وعند نقطة ما، عندما كان عمر الكون كسراً من الثانية فحسب، لم يكن الضبط الدقيق بجزء من $١٠^{١٥}$، وإنما كان بجزء من $١٠^{٥٠}$.

ولو أن هذا الضبط الدقيق لم يحدث، لما كنا موجودين. ولو كان الكون يحوى من المادة قدراً أقل قليلاً مما في كوننا، لما تشكلت فيه قط النجوم والمجرات. وإنما ستتمدد المادة فيه للخارج بسرعة هي بحيث لن تستطيع الجاذبية أبداً أن تخلق تكثفات غاز الهيدروجين والهليوم التي تتكون منها المجرات. ومن الناحية الأخرى، فلو كانت كثافة المادة تختلف عن الكثافة الحرجة بما يزيد قليلاً عن عامل هو جزء من $١٠^{١٥}$ في الاتجاه الآخر، فإن الجاذبية تصبح عندها أقوى مما ينبغي. وعندها سوف يتوقف التمدد، ويتقلص الكون في انسحاق كبير في زمن هو أقل كثيراً من أن يتيح فرصة لنشأة الحياة.

وحتى لو أن الحال لم يكن هكذا، وحتى لو أمكن أن توجد الحياة في كون من نوع مختلف، فإن هذا الضبط بجزء من $١٠^{١٥}$ سيظل شيئاً يلزم تفسيره. ولن يصلح لذلك أن نسميه صدفة ونترك الأمر هكذا. فالعلماء لا يثقون في الصدف. وهم عندما يجدون أن أحد الأرقام قريب هكذا من القيمة الحرجة فإنهم بعامة لن يودوا الاعتقاد بأن هذا مما يمكن أن يحدث مصادفة. وهم لن يقتنعوا حتى يتم لهم العثور على السبب في أن هذا الضبط الدقيق ينبغي أن يكون دقيقاً هكذا.

وعلى كل، فإن نظرية الانفجار الكبير لا تعطي تفسيراً لهذه الدرجة من الدقة. وهي لا تقول شيئاً عن السرعة التي ينبغي أن يحدث بها التمدد. ومن الواضح أن هذا عيب فيها. ورغم أن النظرية لم تنتج عنها أي تنبؤات تناقضها التجارب، إلا أن هذه حقيقة مهمة عجزت النظرية عن تفسيرها.

بل إن هذا الفشل هو من الوضوح بحيث أصبح له اسمه. فعجز نظرية الانفجار الكبير عن التنبؤ بأن كثافة المادة في الكون ينبغي أن تكون جد قريبة من القيمة الحرجة يسمى بمشكلة التسطح. وهذا الاسم يشير إلى حقيقة أن الكون الذي تكون الكثافة فيه قريبة هكذا من القيمة الحرجة يكاد يكون تقريباً مسطحاً. وهناك حل محتمل لهذه المشكلة سيتم توصيفه في الفصل التالي، وذلك بعد أن نرتاد بعض المشاكل الأخرى لنظرية الانفجار الكبير.

[4]

الكون الانتفاخي

ثمة عيب كبير آخر في نظرية الانفجار الكبير، يعرف بمشكلة الأفق، وهو عيب له علاقة بحقيقة أن الكون يبدو متشابهاً إلى حد كبير جداً في كل اتجاه. فأينما اتجه نظرنا في السماء، سنرى تقريباً نفس العدد من المجرات. ومن المؤكد أن المجرات كثيراً ما تتجمع معاً في مجموعات، وهناك مناطق كبيرة - «ثقوب» هائلة في الفضاء - حيث لا توجد مجرات أو توجد مجرات قليلة. وعلى كل، فإن علماءنا كلما نظروا لأبعد، زاد ما يبدو من اتساق في التوزيع. ويمكن للمرء أن يقارن مظهر الكون بمظهر الرمال على الشاطئ. وبالنسبة لنملة، قد تبدو حبات الرمل المفردة وكأنها جلاميد، أما بالنسبة للكائن البشري الذي يستطيع أن يلقي النظر عبر مسافات من مئات الأمتار، فإن الشاطئ سيبدو كمسطح منفسح متسق.

بل إن اتساق الكون يبدو ملحوظاً بأكثر عندما نفحص إشعاع خلفية الميكروويف الذي نشأ في زمن أقدم كثيراً من زمن تشكل المجرات. وأينما كان الاتجاه الذي ينظر فيه الفلكيون، فإن هذا الإشعاع يكون متماثلاً تقريباً، فكثافته لا تتغير إلا بما لا يزيد عن جزء من عشرة آلاف.

ومن الضروري أن نفهم مغزى الآفاق في الكون حتى نرى السبب في أن اتساق الكون هكذا يجب أن يطرح إشكالاً. وهذه الآفاق ليست مماثلة للآفاق الأرضية التي تنجم عن انحناء سطح الأرض. فهي لا تتعلق مطلقاً بالانحناء؛ وعلى العكس، فإنها موجودة لأن الكون قد وجد فحسب لفترة متناهية من الزمان.

هيا نفترض أن عمر الكون هو بالتقريب ١٥ بليون سنة. فإذا كان عمر الكون هكذا، فإننا لن نستطيع قط أن نرى لأكثر من ١٥ بليون سنة ضوئية في الفضاء، مهما كانت قوة التليسكوبات التي نبنيها. وهذا أمر قد ترتب على تعريف السنة

الضوئية، أي المسافة التي يتحركها شعاع ضوء في سنة واحدة*. وقد تكون هناك مناطق من الكون تبعد مثلاً بعشرين مليون سنة ضوئية. إلا أننا لن نستطيع أن نراها. فضوؤها يستغرق ٢٠ بليون سنة ليصل إلينا.

ومن الجهة الأخرى، فلو نظرنا في اتجاهين عكسيين، فإنه يمكننا أن نرى مناطق من الكون بينها مسافة من ٢٠ بليون سنة ضوئية أو حتى ٣٠ سنة ضوئية. وكل ما علينا هو أن ننظر في أحد الاتجاهات إلى بعد ١٠ أو ١٢ أو ١٥ بليون سنة ضوئية، ثم ننظر في الاتجاه الآخر إلى بعد ١٠ أو ١٢ أو ١٥ بليون سنة ضوئية. وفيما يعرض، فإن هذا ليس بالذات أمراً صعباً. فالفلكيون في كل مرة يرصدون فيها خلفية الميكروويف، ينظرون بذلك إلى شيء قد تم بثه منذ ١٥ بليون سنة. وفي نفس الوقت فإنه قد تم باستخدام التليسكوبات رؤية مجرات تقع على بعد ١٢ بليون سنة ضوئية أو أكثر.

وبكلمات أخرى، فإننا نستطيع أن نرى مناطق من الكون تقع كل منها فيما وراء أفق الأخرى. والراصد في إحدى هذه المناطق لا يمكنه أن يرى شيئاً في المنطقة الأخرى. ومن الظاهر أن هذه المناطق لا يمكن قط أن تكون قد اتصلت إحداها بالأخرى. وحسب نظرية النسبية الخاصة لآينشتين، فإنه ما من إشارة أو مؤثر سببي يمكن أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

وإذا كان عمر الكون ليس ١٥ بليون سنة، فإن هذا لا يغير من محاجتنا أي تغيير. وما سيختلف هو فحسب الأرقام المحددة. أما المناطق التي على الجانبين المتضادين من السماء فإنها لا تستطيع قط أن تكون على اتصال سببي أياً ما كان عمر الكون. على أنه ليس من السهل أن نفسر لماذا ينبغي أن تكون هذه المناطق جد متشابهة إذا كانت إحداها لا يمكنها أن تعرف ما تفعله الأخرى. ما هي الآلية التي تعمل هكذا بحيث تؤكد اتساق إشعاع الميكروويف بدرجة جزء واحد من عشرة آلاف؟ وفيما يعرض، فإنه لن يفيدنا أن نحاج بأن هذه المناطق كانت ولا بد في الماضي أكثر تقارباً إحداها من الأخرى. ورغم أن هذا صحيح، إلا أن أبعاد الأفق

---

* السنة الضوئية تساوي تقريباً ٥ر٩ × 10^{12} كيلومتر (أو ٥ر٩ تريليون كيلومتر إذا استخدمنا التعريف الأمريكي للتريليون)، أو ما يقرب من ٦ تريليون ميل.

كانت أيضاً أقصر. فعندما كان عمر الكون مثلاً ثمانية أعوام ونصف العام، كان بعد الأفق أيضاً ثمانية أعوام ونصف العام بدلاً من الخمسة عشر بليون التي نرقبها الآن.

وبالإضافة إلى مشكلة التسطيح ومشكلة الأفق، فإنه يوجد أيضاً لغز آخر، وإن كان على وجه الدقة ليس بإحدى مشاكل نظرية الانفجار الكبير نفسها. وهذا اللغز هو حقيقة أن عدد الجسيمات في الكون في نطاق ما يعرفه العلماء يفوق كثيراً عدد ضديدات الجسيمات. فضديد المادة فيما يبدو لا وجود له.

وضديد المادة هو مادة مصنوعة من ضديدات الجسيمات. وفيما ينبغي، فإنه ليس من سبب لئلا تتمكن ضديدات الجسيمات من أن يتحد أحدها مع الآخر بنفس الطريقة التي تفعل بها الجسيمات ذلك لتتكون الذرات والجزئيات. ومن الممكن نظرياً أن يتحد معاً البوزيترون ليشكلا ذرة تشبه ذرة الهيدروجين من كل وجه مهم سوى وجه واحد. فهذه الذرة ستكون من جسيم ذي شحنة موجبة يدور حول نواة ذات شحنة سالبة بدلاً من العكس. وبالمثل فإنه من الممكن فيما ينبغي أن يتجمع معاً شيء ما يشبه نواة الهليوم ويتكون من ضديد للبروتون وضديدين للنيوترون. وبإضافة بوزيترونين يدوران في مدار، تتخلق ذرة ضديد الهليوم.

ولو حدث اتصال بين المادة وضديد المادة، فإن الجسيمات المكونة لهما سيبيد بعضها البعض. فالإلكترونات التي في المادة تبيد البوزيترونات التي في ضديد المادة. وفي نفس الوقت، فإن البروتونات وضديدات البروتونات يبيد أحدها الآخر، وستفعل النيوترونات وضديدات النيوترونات نفس الشيء. وكنتيجة لذلك فإن المادة وضديد المادة سيختفيان في تفجر للطاقة. والانفجار الذي يتولد بهذه الطريقة يكون أقوى من الانفجار النووي ـ الحراري بعدة مرات. وعندما تنفجر قنبلة هيدروجينية، تتحول المادة إلى طاقة، ولكن هذا التحول يكون فحسب تحولاً جزئياً، وسوف يظل قدر كبير من المادة باقياً.

والظاهر بما يكاد يكون مؤكداً، أنه لا يوجد ضديد مادة في منظومتنا الشمسية. فلو كان هناك ضديد مادة، فسوف يحدث له من آن لآخر أن يتصل بالمادة، فتنتج انفجارات هي بكل تأكيد مما نستطيع أن نرصده. بل إنه لا يمكن أيضاً أن يوجد في مجرتنا أي قدر له أهميته من ضديد المادة. ولو وجد ذلك، فإن سحب الغبار أو

الغاز الذي ما بين النجوم ستصطدم إحداها بالأخرى أو بالنجوم، مما سينجم عنه تفجرات شديدة لأشعة جاما، يمكننا اكتشافها من الأرض بسهولة.

ومما يمكن تصوره أن مجرات بأكملها قد تكون مصنوعة من ضديد المادة، على أن هذا أيضاً ليس فيما يبدو بالأمر جد المحتمل. فالمجرات تتصادم من آن لآخر، ولم يرصد الفلكيون أبداً أي شيء يبدو منه وكأن مجرة من المادة هي ومجرة من ضديد المادة قد التقيا معاً.

وهكذا فإن ما هو واضح من كثرة المادة كثرة غالبة على ضديد المادة يشكل حقيقة أخرى تتطلب التفسير. وكل ما نلاحظه الآن من المادة يمكن بسهولة أن يكون قد تم تخلقه من الطاقة أثناء المراحل المبكرة من الانفجار الكبير. على أنه عندما تتحول الطاقة إلى مادة، يتم خلق الجسيمات وضديدات الجسيمات بأعداد متساوية. وإذا كانت المادة التي نلاحظها قد نشأت هكذا، فأين ذهبت إذن كل ضديدات الجسيمات؟.

النظريات الموحدة الكبرى والكون الانتفاخي:

ذات مرة علق «ڤولتير» على الإمبراطورية الرومانية المقدسة بقوله إنها «لا هي مقدسة، ولا رومانية، ولا إمبراطورية». ويشير بعض الفيزيائيين مثل ستيفن هوكنج إلى أن النظريات الموحدة الكبرى «ليست مطلقاً كبرى»، بل ولا هي موحدة بالكامل. ومن الناحية الأخرى، فإنه في حدود ما أعرف، لم ينكر أي واحد أنها نظريات.

واسم النظرية الموحدة الكبرى Grand unified theory الذي كثيراً ما يختصر إلى GUT ، وهو اسم قد استقي من حقيقة أن هذه النظريات تمثل محاولات لتوحيد ثلاث من القوى الأربع، وهي القوة القوية، والقوة الضعيفة، والقوة الكهرومغناطيسية. ومن الواضح أن النظرية المثالية هي تلك التي تفسر القوى الأربع كلها بما فيها الجاذبية. على أنه ليس ثمة خطأ في التقدم خطوة في كل مرة، والحقيقة أن النظرية الكهرضعيفة هي خطوة هامة نحو التوحيد.

والنظريات الموحدة الكبرى ـ والحقيقة أن هناك نظريات عديدة مطروحة ـ تمثل

محاولة للذهاب لأبعد من النموذج المعياري الذي نوقش في الفصل الثاني. وحتى الآن لا يعرف أحد حقاً أي النظريات الموحدة الكبرى هي الأكثر احتمالاً لأن تكون صحيحة، إن كان منها ما هو صحيح. وكما يبدو فإن هناك مشاكل نظرية معينة تصاحب كل هذه النظريات. وبالإضافة، فإن النظريات الموحدة الكبرى قد نتجت عنها بعض تنبؤات لم تتأكد فيما يبدو بالتجربة، وإن كان لها بعض تنبؤات أخرى ثبت في النهاية صحتها.

وإذا كان الموقف فيما يتعلق بالنظريات الموحدة الكبرى هو موقف مبهم بعض الشيء، فلعل هذا هو المتوقع ليس إلا. ذلك أننا عندما نحاول مد تخوم العلم نجابه دائماً بالمشاكل. وعلى أي حال، فرغم وجود المشاكل، إلا أنه يبدو أن النظريات الموحدة الكبرى لا يمكن أن تمثل مساراً خطأ بالكامل، ذلك أن لها كما يبدو تضمينات تحل المشاكل الكونية التي سبق أن وصفتها. ورغم أنه لا يمكننا القول بأن أية من النظريات الموحدة الكبرى هي حقاً نظرية ناجحة، إلا أن هذه النظريات تبدو قادرة على تفسير السبب في أن الكون لديه ملامح معينة ملحوظة.

ومن إحدى النواحي، يبدو أن النظريات الموحدة الكبرى تفسر غلبة المادة على ضديد المادة. وهي تخبرنا بالذات بأنه لا يلزم أن يكون قد تم خلق المادة وضديدها في الانفجار الكبير بكميات متساوية بالضبط. ومن الممكن، حسب النظريات الموحدة الكبرى، أن يكون خلق المادة وضديد المادة قد تم على نحو يؤدي إلى أن يكون هناك مثلاً بليون جسيم وجسيم واحد من المادة لكل بليون واحد من ضديدات الجسيمات. وهكذا فعندما تبيد المادة وضديدها أحدهما الآخر تكون جسيمات المادة الزائدة هي وحدها التي ستبقى. وبالطبع فإنه إذا كانت عملية كهذه قد حدثت، فلا بد أن الكون كان يحوي من الجسيمات وضديداتها ما يصل على الأقل إلى بليوني مثل لما هو موجود الآن، على أنه ليس من سبب للقول بعدم إمكان هذا الأمر.

وتضع النظريات الموحدة الكبرى نبوءة أخرى وثيقة القرب من النبوءة السابقة. فإذا كان يمكن تخليق المادة وضديدها من الطاقة بكميات غير متساوية، فإنه ينبغي أيضاً أن يكون من الممكن أن يضمحل البروتون ليصبح مثلاً بوزيترون وبيون. واللاسمترية في تخليق المادة وضديدها أمر يعتمد على وجود جسيم جديد يعرف

باسم جسيم إكس. وإذا كان لهذا الجسيم وجود، فإنه ليس من المحتمل أن يتم رصده في أي وقت من المستقبل المنظور. وهو فيما يلزم جسيم ثقيل جداً، والطاقة اللازمة لتخليقه أكبر مما يمكن إنتاجه في أي من معجلات الجسيمات الموجودة الآن. وعلى كل فإن وجود جسيم إكس ستكون له نتائج يمكن رصدها. وبالتحديد، فإن البروتون الذي عده العلماء دائماً على أنه ثابت ثباتاً كاملاً، ينبغي أن يضمحل في أحوال نادرة.

وقد تم إجراء محاولات لاكتشاف اضمحلال البروتون بواسطة مجموعات مختلفة من العلماء التجريبيين في بلاد مختلفة، ولكن أياً من هذه التجارب لم تنجح حتى الآن. وعلى كل، فإن هذا ليس فيه بالضرورة ما يناقض هذا التنبؤ النظري. ومن الممكن أن يكون السبب في عدم رؤية اضمحلال البروتون هو ببساطة أنه لا يحدث إلا نادراً جداً. والنظريات الموحدة الكبرى المختلفة تعطي نتائج مختلفة بالنسبة لاحتمال اضمحلال البروتون. وهكذا، فرغم أن عجز الفيزيائيين عن رصد هذه الظاهرة يؤدي إلى استبعاد بعض النظريات الموحدة الكبرى، إلا أنه حقاً لا يناقض بعضها الآخر.

وعلى كل، فإن الموقف في أحسن أحواله يعد مشوشاً. وأهم تنبؤ تصنعه النظريات الموحدة الكبرى لم يتم إثباته بعد، ومن المستحيل أن نذكر أي هذه النظريات هي الأكثر احتمالاً لأن تكون صحيحة، إن كانت إحداها صحيحة حقاً. وقد يبدو في ضوء هذه المشكلات أن من الصواب أيضاً أن ننسى الآن أمر النظريات الموحدة الكبرى، وأن نبحث عن وسيلة لتوحيد كل القوى الأربع في التو. والحقيقة، كما سوف نرى في فصل تالٍ، أن هذا بالضبط ما يحاول بعض الفيزيائيين النظريين أن يفعلوه.

الكون الانتفاخي:

ومع كل، فإنّ ما تم من عمل على النظريات الموحدة الكبرى له بعض تضمينات هامة. وعلى وجه التحديد، فإن النظريات الموحدة الكبرى قد وفرت الأساس لنظرية طرحها في ١٩٨٠ «آلان جوث» العالم الفيزيائي بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وبيّن فيها طريقة لتجنّب الكثير من المشاكل المصاحبة لنظرية

الانفجار الكبير.

اكتشف جوث أن النظريات الموحدة الكبرى تتضمن فيما يبدو أنه ينبغي أن يكون هناك تمدد انتفاخي سريع جداً قد حدث مبكراً في تاريخ الكون. ووجد جوث أن المجالات الكمية التي كانت منتشرة في الكون المبكر تؤدي إلى خلق نوع من قوة مضادة للجاذبية تجعل الكون يتمدد سريعاً جداً لفترة وجيزة. وعلى وجه التحديد، تبين الحسابات أن التمدد الانتفاخي قد بدأ عندما كان عمر الكون حوالي 10^{-35} من الثانية، وظل مستمراً حتى وصل عمر الكون تقريباً إلى 10^{-32} من الثانية.

وحسب نظرية جوث، فإن الكون زاد في الحجم بعامل من 10^{50} أو أكثر خلال هذه الفترة الوجيزة. وبعدها، يحدث عند نهاية هذه الفترة من التمدد الانتفاخي أن تذوي القوة الدافعة التي كانت تمارسها المجالات الكمية، ويستمر الكون في التمدد بالسرعة الأبطأ التي نلاحظها الآن.

ونظرية الكون الانتفاخي لجوث تحل فيما يظهر كل المشاكل التي ذكرتها. وكمثل، فإنه إذا كانت النظرية صحيحة، لن يكون ثمة مشكلة أفق. فكل مناطق الكون التي نرصدها اليوم كانت على اتصال في الوقت السابق لـ 10^{-35} من الثانية حتى حدث التمدد الانتفاخي فدفعها لتتباعد. وفوق ذلك، يبدو أن النظرية تتنبأ بأن متوسط كثافة المادة ينبغي أن يكون قريباً جداً أو حتى مساوياً للقيمة الحرجة. وبكلمات أخرى، فإن النظرية تتنبأ بأن كوننا ينبغي أن يكون قريباً جداً من الخط الفاصل بين الكون المفتوح والكون المغلق.

ولعل أبسط طريقة لفهم هذه النقطة الأخيرة هي أن نتذكر أنه إذا كانت كثافة مادة الكون قريبة من القيمة الحرجة، فإن متوسط انحناء المكان يقترب جداً من الصفر. وهذا بالضبط ما نتوقعه إذا كان التمدد الانتفاخي قد حدث، ذلك أن تمدداً كهذا سيجعل الكون ينبسط مسطحاً.

وكمثل، تصور أن بالونة قد نفخت إلى حجم كبير جداً، وأنه مهما كان كبر الحجم الذي تتمدد إليه، فإنها لا تنفجر قط. من السهل أن نرى أنها كلما زادت كبراً، أصبح سطحها أكثر تسطحاً. وبالطبع، سيظل في إمكان من يرقبها أن يقول إنها بالونة. على أنه ما من بالونة يمكنها أن تتمدد بعامل من 10^{50} الذي يفترض أن

الكون قد تمدد به.

وإذن، فالكون الانتفاخي هو كون قد دُفع فيه المنحنى المكاني للخارج بواسطة تمدد سريع. والحقيقة أنه إذا كانت النظرية صحيحة، فإنه ينبغي أن يكون الكون قريباً جداً من أن يكون مسطحاً، بحيث أن كثافة المادة ينبغي ألا تكون عُشراً واحداً من الرقم الحرج، ولا عشرة أمثال هذا المقدار، وإنما هي عند مقدار ما قريب جداً من الرقم الحرج. والحقيقة هي أن النظرية تتنبأ بأن هذه الكثافة ينبغي أن تكون بالضبط هي القيمة الحرجة. وبالطبع، فإن هذا من الوجهة العملية يعني فحسب أن الكثافة ينبغي أن تكون قريبة جداً من القيمة الحرجة، ذلك أنه لا توجد قط نظرية علمية مضبوطة حتى آخر رقم عشري.

هكذا يبدو إذن أن النظرية تحل مشكلتي الأفق والتسطح. وبالإضافة إلى ذلك، فحيث إنها مؤسسة على النظريات الموحدة الكبرى، فإن مشكلة زيادة توافر المادة على ضديدها يتم حلها أوتوماتيكياً. ولن يكون علينا بعد أن نتساءل عن السبب في أنه لا يسقط على الأرض أبداً نيازك من ضديد المادة، أو عن السبب في أننا لا نرصد اصطدامات بين مجرات من المادة ومجرات من ضديد المادة.

مشاكل النظرية:

لعلنا نعتقد أن نظرية تفسر الكثير هكذا سيتقبلها العلماء في ابتهاج، والحقيقة أن أول ردود فعل لنظرية جوث كانت مواتية حقاً. على أنه عندما تم استقصاء النظرية بالتفصيل، بدأت المشاكل تظهر. والحقيقة أنه سرعان ما أصبح واضحاً أن نظرية الكون الانتفاخي لا يمكن أن تكون صحيحة فيما يحتمل.

وعلى وجه التحديد، فإن النظرية تتنبأ بأن التمددات الانتفاخية ينبغي أن تحدث في الكثير من المناطق المنفصلة، أو الفقاعات الفضائية. وإذ تتمدد هذه المناطق، فإنها تصبح على اتصال إحداها بالأخرى، ثم تندمج في كون واحد كبير. وفيما يعرض، فإن عملية كهذه ليست مما يصعب تصوره. فكل ما علينا هو أن نتخيل فقاقيع صابون وهي تتمدد ثم تنضم معاً عندما تتصل إحداها بالأخرى.

ومن الواضح أن ثمة شيئاً خطأ في هذه الصورة. وتتنبأ النظرية بوجود جدران

للمناطق حيث انضمت الفقاقيع. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الحسابات النظرية تظهر أن المناطق المفردة ينبغي أن تكون أصغر كثيراً من الكون الذي نرصده الآن. وتقول النظرية إنه ينبغي أن يكون في إمكان الفلكيين رؤية جدران المناطق عندما يتطلعون إلى الفضاء في الخارج. وبالطبع، فإن الفلكيين لم يروا شيئاً من ذلك.

ولحسن الحظ، فقد تم حل هذه المشكلة بسرعة، أو على الأقل فإنه قد تم تجنبها. فقد استنبط فيزيائيون آخرون نسخاً محسنة من النظرية تتجنب هذه الصعوبة. وحل محل نظرية الكون الانتفاخي سيناريو انتفاخي جديد، يتنبأ بأن المناطق المفردة ينبغي أن تكون أكبر كثيراً من الكون المرصود، وليس أصغر كثيراً منه. وإذا كان هذا هو الحال، فإن جدران المناطق ستكون في أغلب الاحتمال غير مرئية، وأكبر الاحتمالات هي أنها تقع بعيداً بأكثر من ١٥ بليون سنة ضوئية.

ولن أناقش بالتفصيل السيناريو الانتفاخي الجديد، ذلك أنه أيضاً قد حلت محله نسخة أخرى للنظرية. وسيكون لدي المزيد مما سأذكره فيما بعد عن إحدى هذه النظريات، وهي نظرية عن الانتفاخ الفوضوي. على أني أعتقد أنه عند هذه النقطة سيكون ذكر بعض الملاحظات العامة عن النظريات الانتفاخية عموماً، هو أكثر فائدة من مناقشة النظريات المفردة بالتفصيل.

فيزياء (فيزيقا) أو ميتافيزيقا ؟

نظريات الكون الانتفاخي قد تكون بمعنى ما مختلفة عن معظم النظريات الأخرى في الفيزياء. وأنا عندما أقول ذلك لا أشير إلى حقيقة أن النظرية كما يبدو قد ابتكرت أصلاً لإزالة بعض الصعوبات المصاحبة لنظرية الانفجار الكبير. فمن الواضح أنه ليس هناك خطأ في محاولة العثور على نظرية تفسر ما نلاحظه من حقائق تفسيراً أفضل من النظرية التي لدينا. فتسطيح الكون وما يلاحظ من اتساقه هي حقائق فيزيائية واقعية تتطلب التفسير.

أما ما أشير إليه فهو حقيقة أن النظريات الانتفاخية قد تكون غير قابلة للاختبار. ونحن عادة نتوقع من أي نظرية جديدة أن تصنع تنبؤات يمكن اختبارها بالتجربة. وخلال تاريخ الفيزياء كله، كثيراً ما كان أفضل علماء الفيزياء النظرية يحرصون جد الحرص على اقتراح التجارب التي يمكن أن تثبت، أو تدحض

نظرياتهم، وآينشتين هنا هو المثل الأول لذلك. فهؤلاء العلماء يحسون أن الأفكار النظرية إن كان لها أن تؤخذ مأخذاً جدياً فإنها يجب أن تخضع للاختبار.

ويبدو أن الحال هنا ليس كذلك. فنظرية الكون الانتفاخي الأصلية قد صنعت فحسب نبوءة واحدة قابلة للاختبار، ثم ثبت في النهاية زيف هذه النبوءة. وأنا أشير هنا إلى فكرة أننا ينبغي أن نرى الكثير من المناطق المفردة الأصغر من الكون المرصود. ومن المؤكد أن النسخ الجديدة من النظرية تقول إن هذه المناطق ينبغي أن تكون كبيرة جداً، ولكن هذه النبوءة لا تقبل الاختبار مطلقاً. فليس لدينا أي وسيلة حتى نعرف ما إذا كانت جدران أقرب منطقة هي ببساطة بعيدة جداً بحيث لا يمكن رؤيتها، أم أنها غير موجودة على الإطلاق.

وإذا كان مما يبدو بالفعل أن النظريات الانتفاخية تفسر ملامح معينة مميزة للكون المرصود، إلا أن هذا ليس اختباراً لصحتها، حيث إنها ابتكرت على وجه الخصوص لهذا الهدف. وليس لدينا وسيلة حتى نعرف إن كان يمكن، أو لا يمكن، وجود نظرية أفضل ومختلفة تماماً تستطيع أيضاً أن تفسر هذه الملامح.

وأنا لا أعني أنه ينبغي إهمال النظريات الانتفاخية. فهذه النظريات فيها الكثير مما يثير الإعجاب الشديد، ورغم كل عيوبها إلا أنها ناجحة جداً. وهناك أسباب قوية جعلتها تُدمج فيما أصبح يعد النظرية الكونية المعيارية.

وما أقوله هو إن نظريات الكون الانتفاخية لها خاصية نلقاها الآن بتواتر متزايد في علمي الفيزياء والكونيات المعاصرين. ذلك أنه في السنوات الأخيرة صار للنظر بالتخمين نزعة لأن يفوق التجربة في سرعته. وأصبح للأفكار النظرية الجديدة نزعة يتزايد مداها، لأن تنال قبولاً واسعاً هو مما يسبق كثيراً أي أمل لاختبارها تجريبياً. وقد أظهر أعضاء المجتمع العلمي في بعض الحالات استعداداً لقبول أفكار لا يمكن مطلقاً اختبارها.

وسوف أطرح في سياق هذا الكتاب بعض أمثلة أخرى لحالات وصل فيها التخمين النظري إلى الانطلاق بعيداً جداً بحيث تخلفت التجربة بعيداً وراءه، كما أنني سوف أذكر المزيد من التعليقات على طبيعة هذه المحاولات النظرية. على أنه قد يكون من الأفضل في لحظتنا هذه أن نواصل موضوع نقاشنا. وأود على وجه الخصوص أن أسأل السؤال التالي، هل نظريات الكون الانتفاخي هي

التخليق من العدم:

الصفة الميتافيزيقية لبعض ما يجري حالياً من النظر بالتخمين في مجال علم الكونيات، هي ما يمكن رؤيته بصورة درامية أكثر، بمجرد أن نأخذ في فحص بعض التخمينات التي أدت لها الموافقة على الأفكار الانتفاخية. وهناك بالذات افتراض أصبح حالياً شائعاً جداً، وهو الافتراض الذي يقول بأن الكون ربما أتى إلى الوجود من العدم.

ولقد تأسست هذه الفكرة على ملاحظة أنه إذا كان الكون قد مر بتمدد انتفاخي في وقت ما من تاريخه، فمن الممكن إذن أنه كان أصلاً خاوياً من المادة والطاقة ـ أو قريباً جداً من أن يكون خاوياً منهما. ومن الممكن أن يكون الكون قد بدأ كفقاعة متمددة من المكان ـ الزمان حجمها دقيق الصغر. وكل المادة والطاقة الموجودة الآن من الممكن أن تكون قد تخلقت خلال الفترة الوجيزة للتمدد الانتفاخي. بل إننا يمكننا القول بأنه عندما مر الكون بهذا الطور، اندفعت المادة والطاقة لتملأ الخواء السريع التمدد.

وهذا أمر في الإمكان، لأنه في حين أن محتوى الكون من المادة موجب، فإن الطاقة الجاذبية لها إسهام بالسلب. وحيث إن معادلة آينشتين ط = ك س٢ ($E=mc^2$) تتضمن أن المادة والطاقة ليستا إلا مظهرين مختلفين لنفس الشيء (ويمكننا لو شئنا أن نضع مكان المصطلحين مصطلحاً واحداً لعلنا نسميه «المادة ـ الطاقة»)، وبالتالي فإنه ينبغي أن يكون في الإمكان تخليق مقادير هائلة من المادة والطاقة من العدم، بشرط أن تكون الإسهامات الموجبة السالبة بحيث يوازن أحدها الآخر. وعلى وجه الخصوص، فليس من سبب يمنع إمكان أن تُخلق معاً المادة الموجبة وطاقة الجاذبية السالبة.

وحتى نرى السبب في أن الطاقة الكلية للكون ينبغي أن تكون سالبة، فإن من الضروري أن نلاحظ أولاً، أن معظم هذه الطاقة موجود في شكل طاقة جاذبية. والطاقة التي في مجالات الجاذبية التي تمسك معاً بالنجوم والكواكب والمجرات ومجموعات المجرات، هي أعظم كثيراً من كل أشكال الطاقة الأخرى مجتمعة.

وهذا ناتج عن المدى الطويل لقوة الجاذبية. ورغم أن قوة الجاذبية هي نسبياً ضعيفة، إلا أن كل جسيم في الكون يجذب كل جسيم آخر. ومن الناحية الأخرى، فإن القوة القوية، كمثل من الأمثلة، تعمل فحسب بين البروتونات والنيوترونات التي هي عملياً متلامسة. ومن الحقيقي أن القوة الكهرومغناطيسية لها هي أيضاً مداها الطويل. على أنه لما كانت المادة متعادلة كهربائياً، ولما كانت المجالات المغناطيسية في الكون تنزع لأن تكون ضعيفة نسبياً، فإن هذه القوة لا تعمل على مسافات بعيدة كما تفعل قوة الجاذبية.

وإذن، فحسب ما في التخطيط الكوني للأمور، يكون للجاذبية أهمية أكبر كثيراً من أهمية الحرارة أو الضوء أو الطاقة الكيميائية أو النشاط الإشعاعي. فالكون يوجد فيه طاقة جذبوية أكبر كثيراً مما يوجد من الطاقة النووية. وبالإضافة فإن هذه الطاقة الجذبوية سالبة. وهي مقدار سلبي كبير جداً بحيث إن كل الإسهامات الموجبة للأنواع الأخرى من الطاقة لا أهمية لها.

وفكرة الطاقة السالبة قد تبدو في أول الأمر غريبة بعض الشيء. على أن هذا المفهوم سيبدو جد معقول بمجرد أن نسأل عن الظروف التي تصبح فيها طاقة الجاذبية صفراً. والإجابة عن هذا السؤال واضحة: وهي عندما تبعد الأجسام المتجاذبة أحدها عن الآخر بعداً كبيراً جداً بحيث لا تمارس أي تجاذب. وكمثل فإن طاقة الجاذبية في المنظومة التي تتألف من الأرض والشمس تصير صفراً لو أن الأرض نُقلت بطريقة ما إلى مسافة بعيدة جداً عن الشمس بحيث لا تحس بعد بأي شد*.

وقد نلاحظ بعد ذلك، أننا إذا أردنا بطريقة ما أن نحرك الأرض من مدارها الحالي إلى الفضاء ما بين النجوم، سيكون من الضروري أن ننفق قدراً كبيراً من الطاقة (الموجبة). وإذا كان علينا أن ننفق طاقة لنصل بالأرض إلى موضع حيث تصبح طاقتها صفراً، فإنه يترتب على ذلك أن الطاقة التي لديها الآن لا بد وأنها سالبة. فالأمر بسيط بساطة إضافة عدد موجب إلى عدد سالب. فإذا أضفنا (+٥)

* أنا هنا أضع في الاعتبار فقط الطاقة المصاحبة لشد الأرض إلى الشمس، وليس طاقة الجاذبية الموجودة في الشمس أو الأرض نفسيهما.

إلى مقدار غير معروف، وانتهينا إلى صفر، فلا بد أن ما كان لدينا هو (- ٥).

وهذه المحاجة نفسها يمكن الاحتجاج بها عكسياً. فلو تخيلنا الآن أن الأرض كانت في بادئ الأمر بعيدة جداً في الفضاء، ثم سمح لها بأن تهوي ثانية إلى الشمس، فإننا نصل إلى نفس الاستنتاج. ولو افترضنا أنه ليس من قوة تحدث مفعولها على الأرض غير الجاذبية، وذلك فيما عدا بعض دفعة صغيرة، ابتدائية، فإن الطاقة الكلية في المنظومة المكونة من الأرض والشمس لا بد أن تظل دائماً صفراً. وهذا أمر يترتب على قانون يسميه الفيزيائيون قانون بقاء الطاقة. فنحن إذا لم نضف طاقة إلى منظومة ما، ولم نسمح للطاقة بالهروب، فإن الطاقة إذن لا بد أن تبقى ذاتها كما هي. والطاقة قد تتحول من شكل لآخر ولكن المقدار الكلي لا يتغير.

على أنه عندما تهوي الأرض إلى الشمس، فإن الأرض ستتحرك بسرعة تتزايد بأكثر وأكثر. وسوف تكتسب طاقة للحركة تتزايد باطراد، ولكن لما كانت الطاقة الكلية في المنظومة تظل هي نفسها، فإن طاقة الجاذبية يجب أن تصبح إذن سالبة بأكثر وأكثر.

وأخيراً، فإننا لا بد وأن نتخيل أن حركة الأرض قد أبطأت (ربما بسبب صواريخ كابحة هائلة، أو شيء من هذا النوع)، وأنه قد سمح لها بأن تستقر في مدار يشبه تماماً المدار الذي تشغله الآن. وفي هذه الحالة تكون معظم طاقة الحركة قد فقدت، ولكن الإسهام الكبير لطاقة الجاذبية يظل باقياً.

والآن يتفق أننا نستطيع حساب ما يساهم به كل من المادة وطاقة الجاذبية في توازن المادة - الطاقة في الكون. ويثبت في النهاية أن إسهام المادة هو رقم كبير جداً بالموجب، وأن إسهام الجاذبية هو مقدار كبير جداً بالسالب. هل يتوازن المقداران بالضبط؟ ما من أحد يعرف ذلك حقاً، ولكن من الممكن جداً أنهما كذلك.

وقد طرح الفيزيائي الأمريكي «إدوارد ب. تريون» في ١٩٧٣ أن الكون ربما كان أصلاً تراوحاً كمياً قد نشأ من العدم. وافترض تريون هذا، وهو افتراض تخميني تماماً، قد تأسس على ملاحظة، أنه حسب مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، فإنه كلما قلّت كمية الطاقة اللازمة لخلق جسيم، زاد الزمن الذي يسمح فيه بوجود الجسيم. وعلى وجه التحديد، إذا كان هناك شيء من مثل جسيم له طاقة من صفر،

فإنه سيسمح له بالبقاء لزمن لامتناه في مداه. ومن الواضح أنه لا وجود لجسيمات كهذه*. ولو كان لها وجود، فإنها ستكون كيانات كالأشباح لا يمكن قط أن تتفاعل مع أي نوع من المادة. ومن الناحية الأخرى، فإن فكرة كون له طاقة من صفر لهي فكرة معقولة تماماً.

وهذه الفكرة تصبح معقولة على نحو خاص عندما يتم اختبارها في سياق نظريات الكون الانتفاخي. فالكون الذي ربما كان أصلاً يحوي فحسب عدداً قليلاً جداً من الجسيمات، يمكن أن يكون قد بدأ كتراوح كمي صغير من نوع ما. وفي الحقيقة، فإنه توجد صور أخرى من هذا الافتراض حيث عدد الجسيمات هو أصلاً اثنان: جسيم وضديده.

وإذا ظل التراوح باقياً زمناً كافياً لأن يبدأ تمدد انتفاخي، فإن استمرار بقاء الكون يتأكد. وإذ يتمدد الفضاء، يمكن للمادة والطاقة أن تتدفقا إلى داخل الكون فتملآن الفضاء المتمدد بسرعة. وأخيراً، يتوقف التمدد، ويتطور الكون تدريجياً إلى الكون الذي نرصده الآن.

ويبدو هذا السيناريو جد معقول وجذاباً من وجوه عديدة. فهو يوفر إجابة ممكنة عن سؤال: من أين أتى الكون؟ وبالإضافة، فإنه يعد نظرية شديدة الاقتصاد، ذلك أن الفروض التي تأسست عليها قليلة وبسيطة.

ومن الناحية الأخرى فإنه ليس من الواضح حقاً ما إذا كان هذا النوع من التخمين له أو ليس له أن يسمى «علماً»، أم أنه أقرب صلة بالفلسفة الميتافيزيقية. والنظريات في المجالات العلمية يفترض فيها أنها مما يختبر، فما هي التجربة التي يمكن فيما يحتمل أن يجريها الباحثون لاختبار هذه النظرية؟

من الواضح أنه ليس في إمكاننا أن نجري تجربة تتطلب أن نرجع وراء في الزمان لنرى إن كان الكون قد بدأ حقاً على هذا النحو. كما أننا لا يمكننا محاولة رؤية إذا كان هذا يمكن أن يحدث لأكوان أخرى، فليس لدينا أي منها لنجري عليه

---

* هناك جسيمات، مثل الفوتون، كتلتها صفر. ولكن الطاقة التي لدى الفوتونات ليست صفراً. والحقيقة أن اقتراح ذلك سيكون فيه تناقض، فالضوء على كل هو شكل من أشكال الطاقة، والضوء يتكون من فوتونات.

التجربة. وأخيراً، فنحن لا نعرف ما إذا كان محتوى الكون من المادة ـ الطاقة هو حقاً صفر. وعندما يكون لدينا عددان كبيران جداً ومتساويان في الظاهر، فإنه قد يستحيل أن نعرف بالضبط إن كان أحدهما يلغي أو لا يلغي الآخر. وكمثل، إذا كان لدينا مقدار ما من ترليون، وآخر من ترليون وعشرة، فإننا لن نتمكن أبداً من معرفة أنهما متساويان أو غير متساويين إذا كنا لا نستطيع قياسهما إلا بدرجة من الدقة هي جزء واحد من البليون.

وبالإضافة، فإنّ من الظاهر أنه تحت ظروف معينة يصبح نفس مفهوم «الطاقة الكلية» للكون شيئاً غامضاً. فنظرية النسبية العامة لآينشتين تتضمن مثلاً، أنه في الكون المغلق يكون مفهوم «الطاقة الكلية» بلا معنى. أما في الكون المسطح الذي تتنبأ به النظريات الانتفاخية، فإن الأمور هي أبسط نوعاً، ولكننا بالطبع لا يمكننا التأكد من أن الكون مسطح بالضبط.

والمفروض أن الفارق بين العلم والفلسفة هو أن الأفكار العلمية قابلة للاختبار تجريبياً، بينما الأفكار الفلسفية غير قابلة لذلك. على أن هذا المبدأ صار يُنتهك الآن بوتيرة تتزايد أبداً. ومن الطريف أن نلاحظ أنه أثناء الجزء المبكر من القرن العشرين، كان الفلاسفة يكدحون بشدة لجعل نظام المعرفة لديهم أشد صرامة. أما الآن، عند نهاية نفس القرن، فإن علماء الفيزياء الذين كان الفلاسفة يحاولون بكل جهد محاكاتهم، «هم» الذين يدخلون أفكاراً لا تقبل الاختبار إلى نظام معرفتهم، وأصبح هذا أمراً أكثر وأكثر وقوعاً.

وليس هذا بالضرورة بالموقف المؤسف ـ والحقيقة أني أعده موقفاً صحياً. فرغم كل شيء، فإن الرغبة في النظر بالتخمين في طبيعة الكون هي التي جعلت فكر عصور سابقة معينة فكراً عظيماً. ولو كان فلاسفة الإغريق الكلاسيكيون أجبن من أن ينظروا بالتخمين، لما ظللنا نداوم حتى الآن على قراءتهم. واليوم، ونحن لدينا رهن تصرفنا معرفة تزيد كثيراً عما كان لديهم، فإننا ينبغي ألا نسمح لأنفسنا بأن نكون أقل جرأة منهم.

ومن الناحية الأخرى، فإننا إذا سمحنا للميتافيزيقا بأن تتنكر في هيئة العلم، فلن ينتج عن ذلك سوى البلبلة. وعندما يخمن العلماء أفكاراً لا يتم اختبارها، بل وأفكاراً قد لا تقبل الاختبار، فإنه ينبغي عليهم أن يكونوا على استعداد للاعتراف

بأن هذا النشاط الذي ينشغلون به ليس تماماً بالنشاط «العلمي»، بمثل أن يجعلنا نعتقده.

2

منطقة التخوم من العلم

[5]

مابعد النموذج المعياري

سيتم أثناء التسعينيات من هذا القرن بناء معجل جسيمات جديد هائل في تكساس تبلغ تكلفته ما يقرب من خمسة بلايين من الدولارات. ومقياس قطره هو ٥٣ ميلاً. وسوف يكلف تشغيله حوالي ٢٥٠ مليون دولار سنوياً، وسوف يستهلك عندما يعمل طاقة تزيد عن ٣٠ مليون وات. واسم هذا المعجل هو فائق التوصيل والاصطدام Superconducting Supercollider واختصاره SSC، وسوف يستخدم في سبر تركيب المادة في نطاق أصغر من قطر البروتون بمائة ألف مرة. وجهاز SSC عندما يركز كميات كبيرة من الطاقة في أحجام دقيقة الصغر هكذا، فإنه يعيد إنتاج الظروف التي كانت موجودة بعد زمن قصير فحسب من خلق الكون. فتركيزات الطاقة التي سينتجها هذا الجهاز ستكون مساوية لتلك التي كانت موجودة في كرة نيران الانفجار الكبير، عندما كان عمر الكون فقط ١٠-١٦ من الثانية.

ومعجل SSC يسمى «فائق التوصيل» لأنه يستخدم مغناطيسات ـ كهربية فائقة التوصيل لأجل أن تثني حزمات من البروتونات في مدارات من داخل حلقتين كل منهما من ٥٣ ميلاً. والمغناطيسات يجب أن تكون فائقة التوصيل وإلا أصبحت احتياجات الطاقة كبيرة جداً (المادة فائقة التوصيل هي مادة يمكن أن يتدفق فيها التيار الكهربائي دون مقاومة). وبمجرد أن يتدفق التيار، لن تكون هناك حاجة إلى طاقة إضافية للمحافظة عليه. وكمثل، فعندما تستخدم بطارية لإحداث تيار في دائرة من سلك فائق التوصيل، يستمر التيار في التدفق بعد أن ننزع البطارية بعيداً. ولو أمكن صنع جهاز تلفاز من مواد فائقة التوصيل، فإنه سيستمر في العمل بعد نزع قابسه، أو على الأقل فهو سيستمر في العمل حتى يصل الضوء

المنبعث من أنبوبة الصورة إلى استنزاف طاقته.

ومن حيث المبدأ، فإنه يمكن إنشاء معجل جسيمات كبير مثل SSC باستخدام مغناطيسات ـ كهربائية عادية مصنوعة من سلك نحاسي. على أن المشاكل المصاحبة لتصميم كهذا ستكون مشاكل هائلة. وكمثل، فإن تشغيل الجهاز هكذا سيتطلب طاقة من حوالي ٤ بليون وات. ومن الناحية الأخرى فإنه في معجل SSC ستتوجه معظم القوة الكهربائية المستهلكة إلى تشغيل وسائل التثليج المستخدمة لتبريد المغناطيسات لتصل إلى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة، والتي تصبح مادة المغناطيسات عندها فائقة التوصيل.

ومعجل SSC سيكون فائق الاصطدام لأنه يتكون من حلقتين يتم فيهما تعجيل حزم البروتونات في اتجاهين عكسيين. وكل حلقة منهما مصنوعة من خط أنابيب كريوجيني* قطره حوالي قدمين، ويحيط بأنبوبة أصغر كثيراً تحمل حزمة من البروتونات.

والبروتونات المحقونة في SSC يتم تعجيلها حول الحلقتين أكثر من ثلاثة ملايين مرة قبل أن تتعرض للاصطدام وهي منطلقة. وعندما تحدث الاصطدامات هكذا بين أزواج البروتونات، يتركز قدر كبير جداً من الطاقة في منطقة جد صغيرة، بحيث يتم في زمن وجيز من كسر من الثانية بث الطاقة بسرعة أعظم من ناتج كل محطات القوى التي على الأرض.

ولو كان معجل SSC مصمماً بحيث تصطدم حزمة مفردة من البروتونات بهدف ساكن، لكانت كمية الطاقة التي تنطلق عند كل اصطدام كمية أصغر كثيراً ـ إذ تبلغ فحسب ما يقرب من النصف في المائة من ذلك. ومن السهل أن نرى السبب في وجوب أن يكون الحال هكذا. تخيل مثلاً أن سيارتين تصطدمان إحداهما بالأخرى. فإذا كانت إحداهما ساكنة، فإن معظم طاقة السيارة الأخرى المتحركة سيتم إنفاقها في دفع الأولى جانباً. ولكن إذا اصطدمت السيارتان وكلتاهما منطلقتان، فإنهما ستتوقفان معاً، وتنطلق كل طاقة حركتيهما.

ومن المؤكد أن معجل SSC هو معجزة من التكنولوجيا، ولكنه باهظ التكلفة.

---

* الكريوجيني: صفة لما يحفظ درجة الحرارة بداخله بحيث تكون أقل منها في خارجه. (المترجم)

وهكذا، فينبغي ألا تأخذنا الدهشة إذا سمعنا متشككاً يسأل: «هل هناك حقاً ما يبرر كل هذه التكاليف؟ هل من الضروري حقاً أن ننفق بلايين الدولارات لندفع البروتونات لأن يصطدم أحدها بالآخر؟ ألا يمكن أن يجرى البحث في فيزياء الجسيمات ببعض وسيلة أخرى؟».

والتساؤل عما إذا كانت التكلفة مبررة لهو سؤال يمكن أن يستمر النقاش فيه بلا نهاية. وطريقة الإجابة عن هذا السؤال تعتمد فيما يحتمل على ما نضعه من قيمة في المعرفة من أجل المعرفة ذاتها. ومهما كان ما سيتعلمه العلماء من تجارب معجل SSC، فهو مما لا يحتمل أن تكون له أية تطبيقات عملية لعدة سنين تالية، هذا إن كان سيكون له حقاً أي تطبيقات بالفعل. وأول معجل جسيمات، وهو السيكلوترون، تم بناؤه في ١٩٢٩. وقد اكتسب العلماء فيما مر من سنوات بعدها قدراً عظيماً من المعرفة عن سلوك الجسيمات الأساسية ـ على أنه من الوجهة العملية ليس هناك وجود لتطبيقات تكنولوجية. وكمثل، فإن إنشاء القنابل النووية والطاقة النووية لم يعتمد على المعرفة المكتسبة من تجارب المعجلات؛ فالفيزياء النووية وفيزياء جسيمات الطاقة العالية هما مجالان مختلفان تماماً.

وفي النهاية، فإن قرار بناء أو عدم بناء أجهزة علمية باهظة التكلفة مثل SSC هو قرار سياسي، قرار يتأثر بمسائل من نوع الهيبة القومية مثلما يتأثر بالاعتبارات العلمية الخالصة. وكمثل، فإن الاهتمام ببناء SSC زاد بحالة اعتباره عندما أخذ الفيزيائيون الأوروبيون يتلقون جوائز نوبل في فيزياء الطاقة العالية، وهو مجال كان فيما سبق يهيمن عليه علماء الولايات المتحدة. ثم زاد هذا الاهتمام لأكثر من ذلك عندما تم اتخاذ برنامج طموح لإنشاء المعجلات في كل من المركز الأوروبي للبحث النووي بالقرب من جنيف، والمعجل الإلكتروني الألماني في هامبورج. وفيما يظن البعض، فلولا أن العلماء الأمريكيين يتنافسون منافسة قوية مع العلماء الأوروبيين الغربيين ومع العلماء السوفييت أيضاً لكان من المحتمل ألا يتم إدراج برنامج إنشاء SSC إلا في وقت ما من القرن التالي.

ومن الناحية الأخرى، فإن ثمة سؤالاً آخر تعدّ الإجابة عنه أسهل بعض الشيء، وهو السؤال عما إذا كان معجل SSC، أو أي شيء مما يماثله، ضرورياً للوصول إلى التقدم في مجال فيزياء الجسيمات تقدماً له دلالته ـ ويجب أن يكون الجواب

هو بنعم أكيدة. فإذا لم يتم بناء SSC، يكون من غير المحتمل أن يصبح العلماء قادرين على إجراء التجارب التي قد تؤدي إلى اكتشافات تتقدم بالتخوم من فيزياء جسيمات الطاقة العالية لتصل إلى ما بعد النموذج المعياري. وحتى نتمكن من سبر أعماق أكبر في بنية المادة، فإن الأمر يتطلب طاقات أعلى.

جسيمات مصطدمة:

ظل الفيزيائيون يجعلون الجسيمات يصطدم أحدها بالآخر منذ عام ١٩١١، وذلك حين استخدم روذرفورد هذه الطريقة لاكتشاف نواة الذرة. وقد وجه روذرفورد حزمة من جسيمات ألفا* إلى صفحة من رقائق الذهب. وفي ذلك الوقت، لم تكن معجلات الجسيمات قد اخترعت بعد، وكانت القذائف الوحيدة المتاحة لهذا النوع من التجارب هي الجسيمات التي تنبعث من الاضمحلال الإشعاعي. وقد استخدم روذرفورد جسيمات ألفا لأنه لم يكن يُعرف بعد أي وجود لجسيمات اضمحلال أخرى سوى جسيمات بيتا، (وهي ليست إلا إلكترونات) وهذه كانت خفيفة جداً.

ووجد روذرفورد أن الطاقة التي تضفيها المواد المشعة على ما تبثه من جسيمات ألفا هي طاقة كافية لأن تجعل الجسيمات تخترق للداخل من ذرات الذهب التي تصنع الرقيقة. وعندما حدث ذلك، انحرفت بعض الجسيمات بزاوية واسعة نسبياً، أما الأغلبية العظمى فقد مرت مباشرة خلال رقيقة الذهب. واستنتج روذرفورد أن الذرات تحوي ولا بد تركيزات دقيقة من المادة ذات شحنة إيجابية، هي النوى. ولو كانت الشحنة الإيجابية للذرة منتشرة من خلال الذرة، كما كان العلماء يعتقدون فيما مضى، لما لوحظت أي من تلك الانحرافات الكبيرة، وأخيراً، بعد أن جمع روذرفورد المعطيات بشأن المقادير المتباينة لانحراف جسيمات ألفا المختلفة، أمكنه أن يستخدمها في عمل حسابات تفصيلية عن البنية الذرية، وهكذا أمكنه أن يثبت أن نواة الذرة موجودة، بل أمكنه أيضاً حساب حجمها.

بعد عهد روذرفورد، أصبحت الأجهزة العلمية أكثر تكلفة، وأصبحت التجارب أكثر تعقداً، ولكن نمط التجربة الأساسي ظل كما هو. وكمثل، فإن

• جسيم ألفا يتكون من نيوترونين وبروتونين؛ وهو مطابق لنواة ذرة هليوم.

التجربة التي أجريت في مركز سلاك في ١٩٦٨، والتي تم فيها اكتشاف أن ثمة شحنات دقيقة كالنقطة (الكواركات) موجودة من داخل البروتون، هذه التجربة تم إجراؤها حسب نفس المبدأ بالضبط. والاختلاف الوحيد هو أن تجارب سلاك قد استخدمت في هذه التجارب الإلكترونات بدلاً من جسيمات ألفا، وعجلت الإلكترونات إلى سرعات عالية من داخل أنبوبة معجل يبلغ طولها الميلين.

جسيمات وموجات:

كلما أردنا أن نزداد تعمقاً في سبر المادة، احتجنا لذلك إلى قدر أكبر من الطاقة. ورغم أن هذا لا يبدو غريباً بوجه خاص، إلا أنه يستحق أن نحلله بشيء من التفصيل. ونحن إذ نفعل ذلك سنلقي بعض الضوء على بعض ما تخبرنا به ميكانيكا الكم بشأن طبيعة المادة.

ولعلنا نبدأ بأن نتذكر أن الضوء له طبيعة مزدوجة. فمن الممكن أن نفكر فيه كتيار من الجسيمات تعرف بالفوتونات، أو كحزمة من الأشعة الكهرومغناطيسية. وحتى السنوات الأولى من القرن العشرين، كان العلماء يعدون هذا أمراً مستحيلاً. ففي رأيهم أن الأشياء يجب أن تتكون إمّا من الجسيمات «أو» من الموجات، ومن المستحيل لشيء أن يكون على الحالين في نفس الوقت. ونحن الآن نعرف أن استنتاجهم هذا الذي بدا منطقياً هو خطأ. وتخبرنا ميكانيكا الكم أن الضوء والمادة كلاهما مصنوعان من جسيمات وموجات في نفس الوقت.

وقد تم إجراء تجارب عديدة تكشفت فيها صفة الجسيم للضوء وصفة الموجة للمادة. وفي بعض هذه التجارب يسلك الإلكترون كجسيم، وذلك مثلاً عندما يصطدم بحاجز فلوري* فتنتج نقطة من الضوء. ويمكن إجراء تجارب أخرى حيث حزم الإلكترونات تظهر بوضوح خاصية كالموجات. وفوق ذلك فإنه يمكن إثبات أن الإلكترونات التي تصنع الحزم لها خصائص لا تنطبق إلا على الموجات، مثل طول الموجة وترددها.

والحقيقة، أنه قد أجريت تجارب تم فيها البرهنة على أن الجسيمات المنفردة لها

• لوح مغطى بمادة فلورية flourescent يستخدم للكشف عن الإشعاعات المؤينة. (المترجم)

خاصية الموجة. وكمثل، فإنه في ١٩٧٤ وجد مجموعة من العلماء في المعهد الذري لجامعة النمسا في فيينا أن في إمكانهم أن يجعلوا نيوتروناً وحيداً يمر من خلال أحد الأجهزة في مسارين مختلفين في نفس الوقت. ومن الواضح أن النيوترون لا يمكنه فعل ذلك إلا إذا سلك كموجة. فالجسيمات لا تنشق إلى جزئين لا يلبثان أن يتحدا ثانية، وإنما الموجة هي التي تستطيع أن تفعل ذلك بسهولة.

وثمة علاقة بين طول الموجة لأحد الجسيمات وسرعته. فكلما زادت سرعة حركته، صغر طول موجته. وهذا أمر يترتب على حقيقة أن الجسيمات التي تتحرك حركة أسرع لديها طبيعياً طاقة حركة أكثر. والطاقة الأكبر توازي دائماً أطوال موجات أقصر. ويصدق هذا مثلاً على الأشعة الكهرومغناطيسية. فالأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة العالية لها أطوال موجات أقصر من أطوال موجات الألوان المختلفة التي في الضوء المرئي. وأشعة إكس وأشعة جاما التي لها طاقات أعلى من ذلك، هي أيضاً ذات أطوال موجات أقصر من ذلك.

وهذا أمر مهم جداً، لأنه إذا أراد الباحثون «رؤية» شيء ما، فإنهم لا بد أن يضيئوه بموجات ذات أطوال هي أقصر من الشيء نفسه. وهذا هو السبب في أن الفيروسات لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوبات العادية، فهي أصغر من أطوال موجات الضوء المرئي. وحتى يمكن إظهارها يجب أن يستخدم بدلاً من ذلك ميكروسكوب إلكتروني. وإذا تحركت الإلكترونات بالسرعة الكافية، تصبح أطوال موجاتها قصيرة، ويمكن بذلك تشكيل صورة واضحة.

وحتى يمكن «رؤية» تفاصيل بنية المادة التي على مقياس صغير جداً، يجب إذن تعجيل الجسيمات إلى سرعات عالية. والوسيلة الوحيدة للوصول إلى ذلك هي بناء ماكينات ضخمة باهظة الثمن. فالماكينات الصغيرة قد انتهت إلى أقصى ما يمكنها فعله منذ زمن طويل.

ميجا فولت، وجيجا فولت، وتيرا فولت:

إذا كان هناك جسيمان مصطدمان يحوز كل منهما مقادير كبيرة من الطاقة، فإن لهذا فائدة إضافية: فالطاقة التي ستنطلق في الاصطدام يمكن استخدامها لتخليق جسيمات جديدة. وتخبرنا معادلة آينشتين ط = ك س٢ ($E=mc^2$) بأن المادة يمكن

تخليقها من الطاقة في أي وقت، ولكن من الطبيعي إذا كان ما يلزم تخليقه هو جسيمات حقيقية وليست تقديرية، فإنه يجب أن يتاح لذلك قدر كاف من الطاقة.

والطاقة في عالم الحياة اليومية تقاس بوحدات من مثل الكيلوات/ساعة أو السعرات، ولكن من الواضح أن من السخف أن نتكلم بالسعرات عن طاقة أحد البروتونات بما تبلغه من عدد كبير جداً. وهذا شيء وإن كان مما يمكن فعله، إلا أن الأرقام المطلوبة لذلك ستكون أمراً مرهقاً.

ووحدات الطاقة التي تستخدم في مجال فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية هي مضاعفات للإلكترون فولت (واختصاره إف = eV)، وتعريفه هو أنه مقدار الطاقة المطلوبة لدفع أحد الإلكترونات خلال فارق جهد من فولت واحد. وكمثل فإنه يتم إنفاق ستة وحدات إلكترون فولت عندما يمر إلكترون واحد خلال محرك صغير متصل ببطارية ذات ستة فولتات.

ومعجلات الجسيمات أقوى بما له اعتباره من البطاريات التي نشتريها من السوبر ماركت. وهكذا، ينبغي ألا ندهش من أن الفيزيائيين يستخدمون عادة مضاعفات كبيرة للإلكترون فولت. وهناك في الحقيقة ثلاث وحدات شائعة الاستخدام. والأولى هي مليون إلكترون فولت واختصارها مي ف Me V. أما رمز البليون (ألف مليون) إلكترون فولت فهو جي ف Ge V، حيث ج ترمز لـ«جيجا». وفي وقت من الأوقات كان العلماء الأمريكيون يسمون هذا المقدار بليون إلكترون فولت واستخدموا لذلك رمز بي ف Be V، ولكن هذا سبب البلبلة لا غير، لأنه كما سبق أن ذكرت فإن كلمة «بليون» لها معنى في أوروبا يختلف عما تعنيه في الولايات المتحدة. وأخيراً، فإن وحدة مليون المليون إلكترون فولت («تريليون» في الولايات المتحدة، ولكنها «بليون» في أوروبا) قد خصص لها رمز تي ف Te V، حيث ت ترمز لـ «تيرا Tera» وليس «تريليون».

ويمكن تلخيص هذا كله كالتالي:

١ مي ف Me V = ١ مليون إلكترون فولت = 10^{6} إف ؛

١ جي ف Ge V = ١٠٠٠ مليون مي ف = 10^{9} إف ؛

١ تي ف Te V = ١٠٠٠ جي ف = ١٠٠٠٠٠٠ مي ف = $١٠^{١٢}$ إف.

وإذا كانت الطاقة التي يحوزها أحد الجسيمات يمكن قياسها بوحدات الإلكترون فولت، فإن من الممكن إذن قياس كتلة الجسيم هكذا. فتكافؤ الكتلة والطاقة يجعل هذا ممكناً. وهكذا يمكننا أن نقول عن الإلكترون إن له كتلة من ٥١١ر٠ مي ف (وهو مما يمكن كتابته أيضاً بأنه ٥١١٠٠٠ إف)، بينما البروتون والنيوترون لهما كتل من ٩٣٨ مي ف و ٩٤٠ مي ف حسب الترتيب.

وكتل بعض الجسيمات الأساسية معروفة بدقة أكبر كثيراً من كتل الجسيمات الأخرى. وبعضها تم قياسه قياساً مضبوطاً تماماً: وكمثل، فإن الميون له كتلة من ١٠٦ مي ف (وهذا يبلغ حوالي ٢٠٧ مثلاً لثقل الإلكترون)، بينما يصل وزن التاو إلى ١٧٨٤ مي ف أو ٧٨٤ر١ جي ف. أما كتل جسيمات دبليو وزد صفر (Z^0) فلم يتم قياسها بنفس الدرجة من الدقة، ولكن من الممكن أن نقول إن جسيمي دبليو يزن كل منهما ما يقرب من ٨٠ جي ف، بينما جسيم زد صفر له كتلة تقرب من ٩٠ جي ف. وفيما يعرض، فإن هذه هي أثقل الجسيمات الأساسية المعروفة. وجسيم زد صفر يبلغ ثقله تقريباً مائة مثل لثقل البروتون.

أما الكواركات فحيث إنه لا يمكن عزلها، فإنه ينبغي ألا يدهشنا أن تكون كتلتها معروفة فحسب على وجه التقريب، ذلك أنه لا يمكننا حسابها إلا بالتقديرات. وفيما يعتقد فإن كتلة الكواركات الستة تتراوح بين ما يقرب من ٥ مي ف إلى حوالي ٣٠ جي ف. وينبغي بالطبع ألا يأخذ القارئ هذه الأرقام كشيء مقدس. فمن الممكن جداً أن تتغير هذه التقديرات بعض الشيء في الفترة ما بين زمن كتابتي لهذا وزمن نشر الكتاب.

وأخيراً، فما من أحد يعرف حقاً ما هي كتلة النيوترينو. وكل ما يمكننا قوله هو أنها إما أن تكون صفراً، وإما أن تكون صغيرة جداً (ربما وحدات معدودة من الإلكترون فولت). وحتى سنوات قليلة مضت، كان يفترض دائماً أن جسيمات النيوترينو كتلتها صفر، ولكن الأبحاث الحديثة النظرية والتجريبية تدل على أن الحال قد لا يكون هكذا. وكل ما يمكن قوله، وأنا أكتب هذا، هو أنه إذا كان هناك فعلاً كتلة للنيوترينو، فإنها صغيرة جداً بحيث لا يستطيع أحد أن يقيسها بدقة.

اكتشاف جسيمات جديدة:

من الواضح أنه حتى تتاح أي فرصة لاكتشاف الجسيمات الثقيلة جداً، فإنه يجب بناء معجلات قوية جداً. وكمثل فإن جسيمات دبليو وزد صفر الثقيلة لم يتم العثور عليها إلا بعد بناء معجلات قوية جداً. بل إننا في حاجة إلى معجلات أكثر قوة (مثل SSC) إذا كنا نريد التقدم لما هو أبعد. وإذا كان لأحد الجسيمات مثلاً كتلة من ٢٠٠ جي ف، بينما نحن نجري التجارب على معجل من ١٠٠ جي ف، فإننا لن نرى قط هذا الجسيم ولو ظللنا نجري طيلة عشرات السنين. ولن يظهر الجسيم أبداً ما لم تكن الطاقة المطلوبة لتخليقه متاحة.

ومعجل SSC سيجعل البروتونات تصطدم بطاقات تقرب من ٤٠ تي ف. وهذا تقريباً أكبر بعشرة أمثال من الطاقة التي ينتجها أقوى المعجلات في نهاية الثمانينيات. على أننا ينبغي ألا نقفز إلى استنتاج أن إنشاء معجل SSC سيجعل في الإمكان تخليق جسيمات لها كتل من ٤٠ تي ف. فالطاقة التي يمكن تحويلها إلى كتلة ليست فحسب إلا كسراً من الطاقة الكلية التي ينتجها معجل البروتون، وكمثل، فإن جهاز تيفا ترون، وهو معجل في معمل معجلات فيرمي القومي (وكثيراً ما يسمى بمعمل فيرمي) بالقرب من شيكاغو، هذا الجهاز ينتج طاقة كلية تبلغ حوالي ٨ر١ تي ف، ولكن الطاقة المتاحة لتخليق أحد الجسيمات هي فحسب سدس هذا المقدار، أو بالتقريب ٣ر٠ تي ف.

وسبب هذا بسيط بما فيه الكفاية. ذلك أن البروتونات وضديدات البروتونات هي جسيمات مركبة مصنوعة من الكواركات وضديدات الكواركات والجلونات وعندما تصطدم هذه الجسيمات أحدها بالآخر لا يحدث أن تصطدم كل مكونات الواحد منها بكل مكونات الآخر. وعلى العكس، فإن الاصطدام يحدث عموماً من بين اثنين فقط منها، وكمثال فإن أحد الكواركات قد يصطدم بضديد كوارك.

ويمكن تمثيل ذلك تمثيلاً فيه ما يضحك بعض الشيء. تخيل أن رجلين يؤرجح كل منهما للآخر كيساً به كرات فولي بول. فعندما يصطدم الكيسان سيحدث لإحدى الكرات في الكيس الواحد أنها عموماً سترتطم بإحدى الكرات في الكيس الآخر. أي أن معظم كرات الفولي لا تساهم مطلقاً في الاصطدام.

وكمية الطاقة التي تتاح لتخليق الجسيمات تعتمد على نوع الجسيمات التي

تخلق، كما تعتمد على قوة المعجل. وتبين الحسابات النظرية أن معجل SSC ينبغي أن يكون قادراً على الكشف عن جسيمات هيجز (لو كانت جسيمات هيجز موجودة حقاً) التي تصل كتلتها حتى وحدة تي ف واحدة، وأن يكون قادراً على الكشف عن الكواركات التي لم يسبق اكتشافها والتي تصل كتلتها حتى ٢ تي ف، وكذلك جسيمات حمل القوى التي تصل كتلتها حتى ٦ تي ف. وهكذا، فهناك فرصة جيدة جداً لأن تؤدي التجارب التي ستجرى على معجل SSC إلى اكتشافات تسمح للعلماء بالذهاب لما هو أبعد من النموذج المعياري.

تخوم الطاقة العالية:

عندما يبدأ الفيزيائيون في تصميم التجارب التي ستجرى على معجل SSC ستكون إحدى الأولويات الأولى هي محاولة العثور على الدليل على وجود جسيم هيجز. وحسب النظرية المقبولة حالياً، فإن كتلة هذا الجسيم ينبغي أن تزيد على ٥ جي ف ولكنها أقل من وحدة تي ف واحدة. وحيث أن SSC سيكون قادراً على إنتاج جسيم هيجز الذي له وحدة تي ف واحدة، فإنه يمكننا بما هو معقول أن نفترض أنه إذا كان لهذا الجسيم وجود، فإنه ستتم رؤيته. وليس هناك بالطبع أي ضمان لأن يحدث ذلك، ويتشكك الكثيرون من الفيزيائيين في وجود هذا الجسيم. وكمثل، فإن بيتر أ. كاروذرز، الفيزيائي بلوس ألاموس، يصف هذا الجسيم بأنه شيء ما «يلصقه الناس بالنظريات لجعل الساعة تدور فحسب». ويعلق مارتينوس ج. ج. فلتمان، الفيزيائي بجامعة ميتشجان بقوله «الحقيقة أن الفيزياء النظرية الحديثة دائماً ما تملأ الفراغ بالكثير من البدع من مثل بوزون هيجز، بحيث أصبح مما يثير الدهشة أن يتمكن أحد من رؤية النجوم حتى ولو في ليلة صافية!» (و«بوزون هيجز» هنا هو فحسب طريقة أخرى لأن نقول «جسيم هيجز»، والإشارة إلى الفراغ هي تلميح لحقيقة أن مجالات هيجز وجسيمات هيجز يفترض أنها موجودة حتى في الفراغ الكامل - أي حتى في غياب كل ماعدا ذلك من مادة).

وبالطبع، إذا «لم» يتم العثور على جسيمات هيجز، فإن هذا سيكون فيه أيضاً كشف مهم. فإذا لم تتم رؤية الجسيم، يتم بذلك نقض النظرية الموجودة، فيعرف

الفيزيائيون النظريون عندها أن عليهم البحث عن ميكانيزم ما آخر يجعل الجسيمات تحوز كتلاً، أو أن عليهم أن يعدلوا الأفكار النظرية الموجودة. فالبرهان السلبي الذي من هذا النوع قد يكون في كثير من الأحيان جدّ مهم، ذلك أن التحقق من أن النظرية الموجودة غير مقنعة هو الذي يمد بالحافز على البحث عن أفكار نظرية جديدة.

وهناك مشكلة ثانية ستتم مجابهتها بواسطة التجارب التي ستجرى على SSC وهي مشكلة المكونات الأساسية للمادة. ورغم أن معظم الفيزيائيين المعاصرين يعتقدون أن الكواركات واللبتونات جسيمات أساسية، إلا أن من الممكن أن نستطيع الوصول إلى اكتشافات تبين أن هذا الفرض غير صحيح. وقد ظن العلماء عدة مرات فيما مضى أنهم قد اكتشفوا المكونات الأساسية للمادة. وفي وقت من الأوقات كان يفترض أن الذرة لا تقبل الانقسام. ثم كان الاعتقاد بأن النيوترونات والبروتونات هي جسيمات أساسية. أما اليوم، فيعتقد أن المادة مصنوعة من الكواركات واللبتونات. على أنه إذا كان لهذه الجسيمات مكونات أصغر بالفعل، فإن SSC قد يسمح للعلماء برؤية هذه المكونات.

وحتى إذا لم يظهر دليل على وجود جسيمات من داخل الكواركات واللبتونات، فسيظل هناك أسئلة بشأن مكونات المادة مازالت تتطلب الإجابة عنها. فليس في إمكاننا حتى الآن أن نكون متأكدين على وجه الدقة من عدد ما يوجد من الأنواع المختلفة من الكواركات واللبتونات. فلماذا ينبغي أن يوجد فحسب ستة من كل؟ لماذا لا يكون هناك ثمانية أو عشرة أو عشرون، أو حتى عدد لانهائي؟.

وكثيراً ما يقال إن الكواركات واللبتونات تأتي في «عائلات»، لأنها يمكن تجميعها في أزواج. فالإلكترون ونيوترينو الإلكترون يُجمعان معاً، بمثل ما يجمع الميون ونيوترونيو الميون، والتاو ونيوترينو التاو. وبالمثل فإن الكوارك العلوي والسفلي يُجمعان في أزواج، بمثل ما يجمع أيضاً الكواركات الغريبة والساحرة في أزواج. وأخيراً فإن كوارك القاع يُجمع في أزواج مع كوارك القمة الذي لم يتم اكتشافه بعد.

وفيما يعتقد، فإن وجود ثلاث عائلات من اللبتونات وثلاث عائلات من

الكواركات هو أكثر من مجرد مصادفة. فمعظم الفيزيائيين يرون ذلك كدليل على سمترية أساسية في الطبيعة. وهكذا، فإنه إذا كشفت التجارب على SSC عن دليل على وجود عائلة رابعة من الكواركات (أو وجود عائلة رابعة من اللبتونات) فسيبدأ الفيزيائيون في البحث تواً عن دليل على وجود عائلة رابعة من النوع الآخر. وإذا تم العثور على عائلة رابعة من الجسيمات، فمن الممكن فيما يفترض أن توجد عائلة خامسة وسادسة، وهلم جراً. ومن الطبيعي أن الفيزيائيين يأملون ألا توجد هذه العائلات. فأن يكون لدينا اثنا عشر جسيماً أساسياً للمادة، لفيه ما يكفي من الإزعاج. وإذا ثبت في النهاية أن عددها أكثر كثيراً، فسوف تعود ثانية مشكلة تكاثر الجسيمات، بمثل ما كانت عليه في الأوقات السابقة لاكتشاف الكواركات.

على أنه يبدو أثناء كتابتي لهذا، أن ليس من جد المحتمل أن سيحدث مثل هذا النوع من التكاثر. ويبدو من التجارب التي تجرى في المركز الأوروبي للأبحاث النووية وفي معمل المعجل الإلكتروني الألماني ما يشير إلى إمكان وجود عائلة رابعة، وإن كان الدليل على ذلك ليس دليلاً مباشراً. وهكذا لم تتم بعد رؤية جسيمات جديدة، وكل المحاجات عن وجود عائلة رابعة هي من باب التخمينات. وبالإضافة إلى ذلك توجد محاجة نظرية يبدو أنها تدل على أن أقصى عدد ممكن لعائلات الكواركات واللبتونات هو أربع عائلات*.

وتعطي هذه المحاجة النظرية مثالاً للطريقة التي تتفاعل بها في هذه الأيام مجالات علم فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات، ذلك أنها محاجة تتأسس على أفكار عن تمدد الكون بعد بدء الانفجار الكبير بما يقرب من ثانية واحدة.

وعندما كان عمر الكون حوالي الثانية الواحدة، لا بد أن سرعة تمدده كانت تعتمد على عدد ما يوجد من الأنواع المختلفة من جسيمات النيوترينو. وكلما زاد عدد شتى أنواع النيوترينو، زادت سرعة التمدد. وسرعة التمدد بدورها تؤثر في المقادير التي يتم إنتاجها من الهليوم والديتريوم والليثيوم. وهكذا فإن قياس المقادير الموجودة حالياً من هذه المواد يوفر لنا المعلومات عن عدد ما كان موجوداً من

* وهناك أيضاً بعض أدلة حديثة على ذلك. أنظر حاشية الهامش في الفصل الأول.

الأنواع المختلفة من النيوترينو. وإذا افترضنا أن السمترية التي بين عدد جسيمات النيوترينو وعدد العائلات المختلفة من الكواركات ستظل باقية فإن هذا يعطينا معلومات عن العدد الكلي للأنواع المختلفة من الجسيمات الأساسية التي يمكن أن توجد.

وتبدو هذه المحاجة معقدة، ولكن كل خطوة فيها معقولة بشكل مباشر، وهي فيما يحتمل صحيحة، إلا إذا كان هناك خطأ ما فظيع فيما يفترضه العلماء عن الظروف التي وجدت في الكون المبكر. وأنا أعتقد إذن أن الأمر يستحق أن نتفحصها مرة أخرى، خطوة خطوة.

وسنبدأ بملاحظة أن جسيمات النيوترينو لها كتلة صغيرة جداً، وربما تكون صفراً. والآن، فإن المحاجات المؤسسة على نظرية النسبية الخاصة تتضمن أنه إذا كان لجسيم ما كتلة من صفر، فإنه يجب أن ينتقل بسرعة الضوء. والفوتونات مثلاً تنتقل بهذه السرعة. وهذا بالطبع لا يدهش كثيراً، حيث أن الفوتونات هي الضوء. وليس من المعروف ما إذا كانت كتلة جسيمات النيوترينو هي صفر، أم أن كتلتها هي فحسب أصغر جداً من أن تسمح بقياسها. ومع كل، فإن هذا ليس له حقاً إلا تأثير صغير على المحاجة التي أوجزها هنا. فإذا كان لجسيمات النيوترينو كتلة صغيرة، ولكنها متناهية، فإنها إذن تكون قد انتقلت خلال الكون المبكر بسرعة كبيرة جداً، تقارب سرعة الضوء. وسبب هذا بسيط جداً. فالكون في ذلك الوقت كان ساخناً جداً، وكانت الطاقة متاحة بمقادير كبيرة جداً، وأي قدر معين من الطاقة سيجعل الجسيم الخفيف ينتقل بسرعة أكبر من الجسيم الثقيل. وهكذا فإن الجسيمات مثل البروتونات والنيوترونات تنتقل بسرعة بطيئة نسبياً، بينما جسيمات النيوترينو الأخف كثيراً في وزنها تصل إلى سرعات عظيمة جداً.

والخطوة الثانية في محاجتنا تعتمد على ما لوحظ من أن تمدد الكون في ذلك الوقت كان يعتمد ولا بد على عدد ما يحويه من الجسيمات التي تتحرك سريعاً. فهذه الجسيمات تمارس نوعاً من الضغط إلى الخارج يؤثر في سرعة التمدد.

فإذا كان هناك مثلاً، أربعة أو خمسة أنواع مختلفة من جسيمات النيوترينو، فإن سرعة التمدد تكون أكثر مما لو كان هناك ثلاثة أنواع فقط. وإذا كان التمدد أكثر سرعة، فإن هذا سينتج عنه تأثيرات ستظل مرئية حتى الآن. وعلى وجه محدد

فإن نسبة وفرة الهليوم تصبح أكبر.

وعند هذه النقطة تصبح المحاجة تقنية بعض الشيء وحتى لا أغرق القارئ في تفاصيل أكثر مما ينبغي، سأذكر ببساطة أن الحسابات تدلنا على أن نسبة النيوترونات إلى البروتونات في الكون كانت في ذلك الوقت تعتمد على سرعة التمدد، فإذا زادت سرعة التمدد، تتغير النسبة بطريقة يزيد معها ما يتشكل من الهليوم. وحين يتم إجراء الحسابات، وحين ندخل فيها أرقام مقادير الهليوم التي نحصل عليها اليوم، فإننا نصل إلى نتيجة هي أنه لا يوجد فيما يحتمل إلا ثلاثة أنواع مختلفة من النيوترينو، أو هي أربعة أنواع على أقصى حد. فنسبة توافر الهليوم كما نلاحظها هي بحيث نجد أن وجود أربعة أنواع من النيوترينو هو فحسب مما يحتمل بالكاد.

وقد تبدو هذه المحاجة لمن ليس لديهم توجه علمي وكأنها تشبه بعض المحاجات التي في «منتخبات» كونفوشيوس. وما أشير إليه هنا هو ما يسمى بالمحاجات المتسلسلة التي «تَثبت» على خطوط عديدة مختلفة، كالقول مثلاً بأنه إذا لم يوجد نظام في الأسرة، فإن الدولة ستنهار مفككة. والغربيون ينزعون إلى التشكك في هذا النوع من المحاجة لأنهم يدركون أنه إذا ثبت في النهاية أن أي حلقة في السلسلة ليست صحيحة، فستتهاوى المحاجة كلها متفككة* هل يستطيع المرء حقاً أن يؤمن بمحاجات علمية يبدو أن لها نفس هذه الخاصية؟

سيجيب معظم العلماء عن هذا النقاش بنعم أكيدة. فالمحاجة العلمية كثيراً ما تعتمد على سلسلة من الأفكار من مثل ما لخصته بأعلاه، ولكنها تختلف عن سلسلة محاجات كونفوشيوس في أنه يمكن اختبار كل خطوة منها تجريبياً. والعلماء عموماً لا يلزمون أنفسهم بمحاجة من هذا النوع إلا بعد أن يختبروا كل حلقة مفردة فيها. وبعدها، فإنه عند الوصول إلى استنتاج ما، لا يقدس هذا الاستنتاج للأبد كعقيدة علمية، وإنما هو يختبر تجريبياً، وإذا اكتشف أنه غير

* لست أقصد باستخدام هذا المثال أي ازدراء للفلسفة الصينية. وكثيراً ما تكون محاجات الفلاسفة الغربيين مثيرة للشك بما يماثل هذا على الأقل، والعلماء الغربيون قد توصلوا أحياناً إلى استنتاجات صحيحة عن طريق محاجات تحوي مغالطات صريحة.

صحيح، فإن العلماء يعودون وراء ويحاولون اكتشاف ما إذا كانت حلقة أو أكثر هي فيما يحتمل أضعف مما كانوا يظنون.

وفي حالتنا هذه، استنتجنا مؤقتاً أن هناك فيما يحتمل ثلاث عائلات فحسب من الجسيمات، أو هي أربع على الأقصى. والخطوة التالية هي أن نختبر هذا الاستنتاج بإجراء التجارب على SSC، لنرى إن كان ممكناً أن نعثر على أي دليل مباشر أو غير مباشر على وجود جسيمات إضافية. وإذا لم يتم اكتشاف دليل من هذا النوع، فإننا سنستنتج إذن أن النظرية قد تم إثباتها، على الأقل حتى وقتنا هذا.

فرميونات وبوزونات:

يدرك الناس، حتى من كان منهم على غير معرفة علمية، أن القوة والمادة يختلفان تماماً. وكمثل، فإن الحقيقة الأكثر وضوحاً بشأن المادة هي أنها تشغل حيزاً، كما يماثل هذا وضوحاً أن القوة لا تفعل ذلك. على أنه إذا كانت المادة والقوة كلتاهما تتألف من جسيمات أساسية معينة، فلماذا لا تكونان أكثر تشابهاً ؟ وكمثل، لماذا ينبغي أن يكون الضوء المصنوع من الفوتونات مختلفاً هكذا جد الاختلاف عن شيء مادي مثل المائدة المصنوعة من إلكترونات وكواركات علوية وسفلية؟

والإجابة هي أن جسيمات القوة وجسيمات المادة تسلك على نحو مختلف. فهما بطريقة ما يختلف كل منهما عن الآخر اختلافاً أساسياً، ولكن هذا الاختلاف لا علاقة له بالكتلة ولا بالشحنة. وعلى العكس فإنه اختلاف يتعلق بلف الجسيمات.

وكل جسيمات القوى المعروفة هي بوزونات. وقد سميت البوزونات على اسم الفيزيائي الهندي ساتيند راناث بوز. والبوزونات لها لف من مضاعفات صحيحة لوحدة أساسية معينة. وكمثل، فإن البوزون قد يكون له لف من صفر (والصفر على كل هو رقم صحيح) أو هو لف من وحدة لف واحدة، أو من وحدتين*. أما جسيمات المادة التي تسمى فرميونات على اسم الفيزيائي الإيطالي

* قد يود من له توجه رياضي أن يعرف أن وحدة اللف تعرف بأنها h/2rr ، حيث h هي العدد =

انريكو فيرمي، فلها لف من نصف عدد صحيح. وبكلمات أخرى فإن الفرميون يمكن أن يكون لفه من ٢/١ أو ٢/٣ أو ٢/٥* أو حتى ما هو أكبر من ذلك.

والبوزونات والفرميونات يختلف كل منها عن الآخر، ذلك أن الفرميونات تخضع لمبدأ الاستبعاد لباولي، بينما البوزونات لا تفعل. وقد سمي هذا المبدأ على اسم الفيزيائي النمسوي ولفجانج باولي، ويقول هذا المبدأ إنه لا يمكن لجسمين متشابهين من ذوي اللف نصف الصحيح أن يشغلا نفس الحيز في نفس الوقت. وكمثل، لا يمكن حشر أحد الإلكترونات في حيز يشغله إلكترون آخر. ومن الناحية الأخرى فإن ذلك يمكن أن يحدث بسهولة للبوزونات. والحقيقة أننا إذا حاولنا تجسيد ذلك بعض الشيء، فإننا يمكننا القول بأن البوزونات لها ميل إيجابي لأن يتكوم أحدها فوق الآخر. وعندما يحدث ذلك، فإن القوى التي تخلقها هذه البوزونات تصبح ببساطة أقوى.

وهذه الخواص للفرميونات والبوزونات تتوافق بالضبط مع السلوك الذي تظهره المادة والقوى في الحياة اليومية. فالمائدة لا يمكن أن توضع قسراً في حيز تشغله مائدة أخرى، خالقة شيئاً واحداً هو أثقل بالضعف. ومن الناحية الأخرى يكون هذا ما نراه بالضبط في حالة القوى. وكمثل، فعندما يشد فردان حبلاً فإنهما يمارسان ضعف القوة التي يمارسها فرد واحد بمفرده. ومن الممكن أن تُركب حزمتان من الضوء إحداهما على الأخرى، ليصنعا حزمة واحدة تبلغ كثافتها الضعف. وبالمثل، فإن الأرض التي تحوي من المادة ما هو أكثر من القمر، تمارس قوة جاذبية أقوى، بما يتوافق مع ذلك.

ومبدأ الاستبعاد لباولي لا يفسر السبب في أن الجسيمات ذات اللف نصف الصحيح ينبغي أن تسلك على هذا النحو، بينما الجسيمات ذات اللف الصحيح لا تفعل. والأمر ببساطة أن هذا هو ما لوحظ أن الجسيمات تفعله. وليس من استثناء معروف لذلك.

= المسمى بثابت بلانك ويساوي ٦٦٢٥.×١٠–٢٧ أرج - ثانية.

* من الطبيعي أن العددين الأخيرين يمكن أن يكتبا ١ ١/٢ و ٢ ١/٢ حسب الترتيب. على أن الفيزيائيين يفضلون كتابتهما ككسور غير صحيحة.

سوسي:

في السنوات الأخيرة أخذ بعض الفيزيائيين يتساءلون ألا يمكن أن يحدث أحياناً أن ينهار هذا التمييز بين البوزونات والفرميونات، وأخذوا يستكشفون بالذات ما يوجد من تضمينات في فكرة نظرية معينة تعرف بالسمترية الفائقة Super Symmetry. وحيث إن الفيزيائيين كما يبدو متيمون في هذه الأيام بأسماء التدليل الطريفة، فإنهم يختصرون أحياناً كلمة Super Symmetry إلى (Susy) سوسي.

والفكرة الأساسية للسمترية الفائقة بسيطة إلى حد بالغ. ويفترض فيها أنه لا يوجد في الحقيقة نوعان مختلفان من الجسيمات، وإنما يوجد نوع واحد فقط. ويفترض في نظرية السمترية الفائقة أن كل جسيم يمكن أن يقترن في أزواج مع جسيم آخر مطابق له في كل شيء سوى أن لفه وكتلته مختلفان. وكمثل فإن كل فرميون ذا نصف لف يزدوج مع بوزون من لف صفر. ولكن هذا البوزون لا يكون من أي من البوزونات المألوفة التي لاقيناها من قبل، وإنما هو على العكس من ذلك جسيم جديد لم تتم رؤيته بعد في التجارب.

والإلكترون ذو نصف اللف يكون له في نظريات السمترية الفائقة شريك يسمى سلكترون. وبالمثل، فإن كل كوارك ذا نصف لف يكون في زوج مع جسيم بلا لف يسمى سكوارك. فإن الفوتون الذي له لف من ١ يكون في زوج مع فوتينو من لف ٢/١ (وهذا ينقل القوة رغم أنه فرميون). وحتى جسيم هيجز المحير له أيضاً شريك هو الهيجزينو الذي له لف من ٢/١ (إذا كان جسيم هيجز له وجود فإنه سيكون بوزوناً لفه من صفر).

وليس من الواضح حقاً ما ينبغي أن تكونه كتلة الجسيمات ذات السمترية الفائقة، والتي تعرف بأنها سجسيمات Spartiecles، ولكن من الواضح أنها يجب أن تكون ثقيلة جداً. وهي لو لم تكن كذلك، لرأينا بعضها من قبل في التجارب التي تجرى على ما هو موجود من المعجلات. وكمثل، فإن المعطيات التجريبية الموجودة تتضمن أنه لو كان هناك وجود للسلكترون، لوجب أن يكون أثقل من الإلكترون بأربعين ألف مثل على الأقل.

وقد نتساءل عند هذه النقطة، هل يستحق الأمر حقاً أن نستكشف أفكاراً

نظرية مثل السمترية الفائقة، هي مما لا يوجد له أي مبرر تجريبي. وأعتقد أن الإجابة عن هذا السؤال يجب أن تكون بنعم مشروطة. فرغم أنه لا يوجد برهان تجريبي على السمترية الفائقة، إلا أن فيها عدة جوانب تجعل منها رغم كل شيء فكرة جد مثيرة للإعجاب. ففي المكان الأول، من المعروف أن الجسيمات الأولية تظهر شتى الأنواع المختلفة من السمترية. فكل جسيم من الجسيمات المشابهة للإلكترون (أي الإلكترون والميون والتاو) له النيوترينو المقابل له. والكواركات موجودة في أزواج، ويبدو أن هناك زوجاً من الكواركات لكل زوج من اللبتونات. وإذا ثبت في النهاية أن السمترية الفائقة هي توصيف صحيح للطبيعة، فإن الأمور كلها يمكن أن تربط معاً في حزمة جد مثيرة للإعجاب، ومن الممكن هكذا أن ينهار هذا التمييز التعسفي بعض الشيء ما بين الجسيمات ذات اللف الصحيح والجسيمات ذات اللف نصف الصحيح.

وبكلمات أخرى، فإن نظريات السمترية الفائقة لها جاذبية جمالية معينة. وليست هذه نظرة لا تتصل بالموضوع. فقد حدث من قبل أنه كثيراً ما ثبت في النهاية أن النظريات التي تثير الإعجاب جمالياً هي النظريات الأعظم احتمالاً لأن تكون صحيحة. فالطبيعة فيما يبدو تنتظم في أنماط بسيطة منطقية، وبعض أعظم الاكتشافات في تاريخ العلم إنما تم وقوعها لأن العلماء تبينوا هذه الأنماط ورأوا أن في إمكانهم تفسير الظواهر الفيزيائية بطرق «جميلة». وكمثل، فقد كان للاعتبارات الجمالية دورها الذي لعبته عندما فضل جاليليو نظرية كوبرنيكوس عن المنظومة الشمسية على نظرية بطليموس، كما لعبت دوراً عندما اكتشف آينشتين الأفكار التي تأسست عليها نظرياته عن النسبية.

وأن تكون إحدى النظريات جميلة لا يعني بالضرورة أنها صحيحة. وهناك نظريات عديدة جميلة قد تم دحضها بحقائق تجريبية قبيحة. ومع كل، فعندما يكون علينا أن نختار بين نظرية تحوز ما يثير الإعجاب جمالياً وأخرى لا تفعل ذلك، فإننا عندما نختار الأولى يندر أن نكون على خطأ في ذلك.

والسمترية ليست فكرة جميلة فحسب، وإنما هي أيضاً فكرة قد تؤدي إلى الطريق للوصول إلى تلك الكأس المقدسة المطلوبة لفيزياء الجسيمات، أي إلى توحيد كل القوى. وكما سنرى في الفصل الثامن، فإنه من بين كل النظريات التي نشأت

حتى الآن، نجد أن النظريات الوحيدة التي قد تقود الفيزيائيين إلى هذا الهدف هي تلك التي تتضمن السمترية الفائقة. وإذا ثبت في النهاية صحة أي من هذه النظريات، فإن الفيزيائيين قد يجدون أخيراً الإجابات عن بعض تلك المسائل التي لم يتمكن النموذج المعياري من حلها. وكمثل فإن إحدى النظريات التي تتضمن السمترية الفائقة يمكن أن تخبرنا عن السبب في أن القوى التي نلاحظها في الطبيعة لها درجات من الشدة جد مختلفة، وعن السبب في أن الجسيمات التي نلاحظها لها ما تحوزه من كتلة.

وكما سنرى فيما بعد، فإن بعض هذه النظريات تعد واعدة تماماً. وطبيعي أنها كانت ستعد واعدة أكثر لو كان هناك بعض دليل على أن الطبيعة هي حقاً فائقة السمترية. ومن هنا تكون أهمية المعجل فائق التوصيل والاصطدام ذلك أن التجارب التي ستجرى على SSC يمكن جداً أن توفر هذا النوع من الدليل. فلو كانت كتلة أي جلوينو (الشريك فائق السمترية للجلون) أو كتلة أي سكوارك تقل عما يقرب من ١ر٥ تي ف، فإن معجل SSC سيكون فيما يفترض قادراً على الكشف عنهما، ومن الممكن أيضاً أن يظهر دليل على وجود سجسيمات أخرى.

ومن الناحية الأخرى، إذا لم يتم رصد سجسيمات، سيجابه الفيزيائيون مرة أخرى بالمشكلة المشار إليها في الفصل الأخير، وهي حقيقة أن النظرية في مناطق كثيرة من الفيزياء قد أخذت تفوق التجربة في السرعة. ومما يستحق التأكيد مرة أخرى، أنه إذا كان لإحدى الأفكار جاذبية عظيمة في التصور، فإن هذا ليس فيه ما يضمن ثبوت صحتها في النهاية. ومع كل، فإن الذهن البشري له القدرة على ابتكار عدد لا نهاية له من العوالم النظرية المختلفة الممكنة. على أنه مهما كانت إحدى الأفكار معقولة ومثيرة للإعجاب، فسيظل من الضروري إجراء التجارب لاكتشاف ما إذا كانت هذه الفكرة تتوافق مع الواقع.

[6]

الكون غير المرئي

من أكثر الأمور وضوحاً وإدهاشاً فيما يتعلق بالكون أنه مليء بالمجرات. والنجوم ليست موزعة في الفضاء توزيعاً عشوائياً، ولكنها موجودة في مجرات هائلة من شتى الأشكال والأحجام، ومعظمها مجرات كبيرة حقاً. والمجرة اللولبية ذات الحجم المتوسط من مثل مجرتنا درب التبانة قد تحوي ما يقرب من مائة بليون نجم، بينما يمكن لإحدى المجرات العملاقة الإهليلجية أن تحوى نجوماً قدر ذلك عشر مرات. وحتى المجرات القزمة (مثل السحب الماجلانية الكبيرة والصغيرة، التي تدور حول درب التبانة) فيها تجمعات لبلايين من النجوم.

وبالإضافة، فإن المجرات نفسها تتجمع في مجموعات. والتجمع النمطي قد يصل عدد الأعضاء فيه ما بين عشر مجرات إلى مائة مجرة. وكمثل، فإن مجرة درب التبانة عضو في تجمع يسمى المجموعة المحلية، وهذه تحوي أيضاً المجرة العظيمة التي تسمى المرأة المسلسلة، وحوالي عشرين منظومة أصغر منها. وهناك مجموعات من المجرات أكبر من ذلك كثيراً، وبعض التجمعات الفائقة تحوي ما يصل إلى ألف عضو.

وليس من الصعب أن نتصور كيف تخلقت المجرات. فمنذ بلايين السنين، لا بد أنه كانت توجد مناطق يبلغ عرضها مئات الآلاف من السنين الضوئية، حيث كانت كثافة الهيدروجين والهليوم الأوليين أكبر مما تكونه في الأماكن الأخرى. وتقلصت هذه السحب تدريجياً بتأثير الجاذبية. وبعد مئات الملايين من السنين تكسرت إلى شظايا صغيرة. وهذه الشظايا زادت تقلصاً لتكون مناطق تزيد كثافتها عن ذي قبل. وزاد ضغط الجاذبية لهذه الكتل فأصبحت ساخنة وبدأت تحدث في قلبها التفاعلات النووية. وأخذت النجوم تومض وهي تخرج للوجود

واحداً بعد الآخر.

ولهذا السيناريو مشكلة واحدة فقط: ذلك أنه حسب نظرية الانفجار الكبير، ينبغي ألا يحدث مطلقاً هذا السيناريو. فتمدد الكون ينبغي أن يجعل المادة مشتتة جداً بحيث لا تتاح للجاذبية قط أي فرصة لأن تجمعها معاً، وإنما ينبغي أن يمتلئ الكون بطبقة رقيقة من غاز الهيدروجين والهليوم، وليس بالمجرات والنجوم.

ولا يمكن أن تتكون المجرات إلا إذا كانت تكثفات المادة التي تخلقت منها موجودة في زمن مبكر جداً من تاريخ الكون. وبكلمات أخرى، إذا كانت المناطق ذات الكثافة الأكبر من المتوسط تتخلق بالسرعة الكافية، فإن الجاذبية ستفوز على تمدد الكون. ولكن هذه الفكرة تناقضها المشاهدات. فلو كان الكون المبكر يحوي مناطق ذات كثافة عالية، لانبعثت من هذه المناطق كميات إشعاع أعلى من المتوسط. ولو كان هذا هو الحال، لظلت آثار ذلك مرئية للآن. ولن يكون إشعاع الخلفية الكوني عندها متناسقاً كما هو الآن، وإنما ستكون في السماء «نقط ساخنة» من الراديو ١ ولما كنا لا نرى الآن نقطاً كهذه، فإننا يمكننا أن نستنتج فحسب أن المادة التي في الكون كانت بالأحرى تتوزع توزيعاً متناسقاً عندما تم بعث هذا الإشعاع بعد الانفجار الكبير بما يقرب من نصف مليون سنة.

ولكننا من الناحية الأخرى نعرف أن المادة لا بد وأنها قد تكثفت تكثفاً سريعاً نسبياً لتكون المجرات. ومع كل، فإن عمر المجرات كبير جداً. وتدل كل البراهين على أنها وجدت بالفعل خلال بلايين قليلة من السنين بعد الانفجار الكبير. ويحوي درب التبانة نجوماً يعتقد أن عمرها ١٤ بليون سنة ـ أي أن عمرها يكاد يماثل عمر الكون.

وتقول النظرية إن المادة كان ينبغي ألا تتكثف إلى مجرات. على أن البرهان المستقى من المشاهدات يدل على أنها قد تكثفت سريعاً خلال مدى هو في أقصاه عدة بلايين من السنين*. ومن الواضح أن ثمة تناقضاً هنا، وهو تناقض يجب حله على نحو ما.

* من الواضح أن مدى عدة بلايين من السنين هو زمن طويل عندما يقارن مثلاً بمدى حيوات البشر، ولكنه زمن قصير بالمقياس الكوني.

وقد أدت نظريات الكون الانتفاخي إلى حل بعض المشاكل التي تثير الإزعاج في علم الكونيات. على أنه يبدو للوهلة الأولى أن النموذج الانتفاخي ليس له أدنى علاقة بمشكلة تكوين المجرات. وعلى كل، فإن من المفروض أن التمدد الانتفاخي قد استمر فحسب لجزء بسيط من الثانية، بينما ينتمي عصر تكوين المجرات إلى فترة متأخرة عن ذلك زمناً كثيراً. على أنه قد ثبت في النهاية أن النموذج الانتفاخي ليس غير متصل الموضوع كما نظن. وكما سوف نرى، فإن ما يفترض من وجود فترة من التمدد الانتفاخي فيه تضمينات تتعلق بمقادير المادة التي ينبغي أن توجد في الكون. وعلى وجه التحديد، تقول لنا النظريات الانتفاخية أنه ينبغي أن يكون هناك قدر من المادة أكبر كثيراً مما يبدو أنه موجود، وأن المادة الوهاجة الساطعة التي تجمعت في نجوم ومجرات ليست إلا جزءاً صغيراً من الكل.

المادة المظلمة:

عرف الفلكيون لما يزيد عن خمسين سنة أن ثمة شيئاً ما لا يستطيعون رؤيته. فالكون يحوي نوعاً غامضاً من المادة لا تستطيع التليسكوبات الكشف عنه، ومع ذلك فإن هذا الشيء يعلن عن وجوده بأن يمارس شداً جاذبياً على الأجرام التي يستطيع الفلكيون رصدها.

وقد لاحظ هذه الظاهرة لأول مرة الفلكي الهولندي جان أورت حوالي ١٩٣٢. وكان أورت يدرس النجوم التي تتحرك بعيداً عن قرص مجرتنا درب التبانة. وعندما تبدأ هذه النجوم في الارتفاع فوق القرص، تعمل الجاذبية على شدها وراء. وكنتيجة لذلك، فإن حركتها تبطئ أكثر وأكثر، وفي النهاية تهوي هذه النجوم وراء في الاتجاه الذي أتت منه. وبدراسة مواضع وسرعات نجوم كهذه، يمكن حساب مقدار الكتلة التي يجب أن يحويها قرص المجرة.

وعندما حسب أورت حاصل جمع كتل النجوم التي يمكن رصدها في القرص، وجد أن من الواضح أن ما يوجد أقل مما ينبغي أن يكون. فمقدار الكتلة الموجود بالرؤية هو فقط ٥٠ في المائة من المقدار المطلوب لإنتاج الحركات المرصودة.

وبافتراض أن الفارق ناجم عن وجود نجوم صغيرة هي أشحب من أن نراها وأن

نعدها، أضاف أورت تصحيحاً إلى معادلاته يحسب حساب هذه النجوم. على أن هذه الطريقة للتخلص من الفارق لم تستمر طويلاً. فقد بينت الدراسات اللاحقة أن هذه النجوم الشاحبة ليست موجودة بأعداد كافية لأن تسبب ما يلاحظ من الظواهر. كما أن الغاز الموجود في المجرة ما بين النجوم ليس بالذي يوفر الكتلة المطلوبة. فثمة شيء يمارس شداً على هذه النجوم، وهذا الشيء ليس في الإمكان رؤيته.

وفي ١٩٣٣، أشار فريتز زويكي عالم الفلك بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا إلى ظاهرة مماثلة. فقد اكتشف زويكي أثناء دراسته لتجمع كبير من المجرات في كوكبة الذؤابة، أنه رغم أن من الواضح أن المجرات التي في التجمع ممسوكة معاً بواسطة الشد الجذبوي المتبادل فيما بينها، إلا أن الكتلة الموجودة في النجوم المرئية في المجرات توفر فقط جزءاً من الكتلة المطلوبة. وكما قال زويكي فإنه توجد مشكلة «كتلة مفقودة».

ولم يعد الفلكيون يتحدثون الآن عن كتلة مفقودة. فهم الآن يفضلون بدلاً من ذلك مصطلح المادة المظلمة، والحقيقة أن هذا المصطلح الأخير هو الأكثر دقة، ذلك أنه ليس هناك في الواقع أي شيء «مفقود». والمشكلة ليست مشكلة كتلة ينبغي أن تكون موجودة ولكنها ليست موجودة. فتأثيرات الجاذبية المرصودة هكذا ناجمة عن مادة من الواضح أنها موجودة، ولكن الفلكيين لا يستطيعون رؤيتها. وفيما يعرض، فإن هذه المادة تسمى المادة «المظلمة»، ليس لأنها قاتمة في لونها، ولكن لأنها لا تبعث ضوءاً. ويمكننا أن نسميها بدلاً من ذلك «المادة الخفية».

ورغم أنه قد مر ما يزيد عن نصف القرن منذ أصبح وجود المادة المظلمة معروفاً، إلا أن الفلكيين مازالوا غير متأكدين مما تكونه. كما أنهم ليسوا متأكدين على وجه الدقة من مقدار ما هو موجود منها. فهم يعرفون فقط أنه يوجد منها مقدار جد كبير. وحسب التقديرات الحالية، فإن المادة المظلمة يبلغ مقدارها ما يتراوح بين ٩٠ و٩٩ في المائة من كتلة الكون.

هذا وقد نشأت أثناء الثمانينيات تكنيكات جديدة جعلت من الممكن الكشف عن وجود كميات كبيرة من المادة المظلمة داخل المجرات وفيما حولها. وقد ثبت سريعاً أن المجرات، بما فيها مجرتنا، تحيط بها هالات ضخمة من بعض مادة خفية

غامضة. ومرة أخرى، فإن المادة المظلمة تعلن عن وجودها بتأثيراتها الجذبوية. وحتى يمكننا أن نشرح بدقة ما تكونه هذه التأثيرات، قد يكون مما يساعدنا على ذلك أن نستطرد بإيجاز، لنلقي نظرة على مشكلة مماثلة وإن كانت أبسط، وهي مشكلة تحديد كتلة الشمس.

وواضح أنه لا يمكننا وضع الشمس فوق ميزان لوزنها. وربما بدا للنظرة المتعجلة أن من الصعب أو من المستحيل أن نزن الشمس على الإطلاق. على أن هناك طريقة غير مباشرة لتحديد كتلة الشمس، وإن كانت طريقة غاية في الدقة. وكل ما نحتاجه هو أن نرصد حركات الكواكب التي تدور حول الشمس.

ولو كانت الشمس أكثر ثقلاً مما هي عليه، فإن الأرض والمريخ والزهرة، وكل الكواكب الأخرى، ستنطلق فيما حولها بسرعة أكبر مدفوعة لذلك بجاذبية الشمس. ولو كان وزن الشمس أقل، ستكون حركة الكواكب أبطأ. فحساب كتلة الشمس يعد مسألة لها حلها المباشر في فيزياء نيوتن*.

ومن الممكن وزن مجرات بأسرها بطريقة مماثلة. والنجوم التي في إحدى المجرات تدور حول مركز المجرة. ومن المؤكد أن لهذه الدورة زمن كبير جداً: وكمثل فإن الأرض تدور حول الشمس في سنة، ولكن الشمس تستغرق ٢٥٠ مليون سنة لتكمل دورة واحدة حول مركز درب التبانة. على أن المبدأ مازال هو نفسه. فكلما زادت قوة الجاذبية التي تشد الجرم الدائر، زادت سرعة الجرم.

ومن المؤكد أن كتلة الشمس تتركز في جرم كروي صغير نسبياً، أما كتلة المجرة فتتوزع بين بلايين من النجوم المفردة، على أن هذا الاختلاف هو في الحقيقة اختلاف صغير. وحسب قانون الجاذبية لنيوتن، ليس هناك اختلاف بين أن تكون الكتلة الجذبوية مركزة في نقطة واحدة، أو أن تكون «منبسطة» لتمتد في حيز كبير. وتتحدد حركة النجم الدائر بمقدار الكتلة التي في «الداخل» من مداره.

وقد وضعت كلمة «في الداخل» بين أقواس لأن هذه نقطة مهمة، حيث أنها تعني أننا نستطيع أن نستخدم قانون نيوتن لحساب كتلة إحدى المجرات من خلال

* رغم أن قانون نيوتن للجاذبية قد نسخته نظرية آينشتين للنسبية العامة، إلا أنه يعطي في أحوال كثيرة نتائج مضبوطة بما يكفي. وحالتنا هنا هي هكذا.

أي نصف قطر محدد. وكمثل، إذا نظرنا إلى حركات نجوم تقع على بعد ثلثي المسافة من مركز المجرة إلى حرفها. فإننا سنتمكن من أن نحسب كتلة الثلثين الداخليين للمجرة.

ومن الممكن أيضاً استخدام هذه الطريقة لقياس كتلة ما موجودة فيما وراء الحرف المرئي لقرص المجرة. وكل ما سنحتاجه هو قياس سرعات الأجرام التي تدور في مدارات تقع بالكامل خارج المجرة، كسحب الغاز مثلاً. وإذا وجدنا أن هذه السحب موجودة على مسافات مختلفة من حرف المجرة، فلن يكون من الصعب رسم خريطة لتوزيع الكتلة في الهالة المظلمة للمجرة. ولن يكون من الصعب إجراء القياسات اللازمة للسرعة، حيث أن السرعة على علاقة بالإزاحة الحمراء. وإذا نظرنا إلى مجرة تدور عند حرفها، فإن دورانها سيجعل النجوم التي عند أحد الجنبين تتحرك تجاه الأرض، بينما النجوم التي عند الجنب الآخر تتحرك بعيداً. والأمر يشبه النظر إلى أسطوانة فونوغراف تدور على حرفها، وفي حالة المجرة سيكون للضوء الآتي من النجوم التي تقترب من الأرض إزاحة زرقاء، بينما سنلاحظ وجود إزاحة حمراء لضوء النجوم التي تتحرك بعيداً، وطبيعي أنه يجب أن نحسب حساب الإزاحة الحمراء العامة الناتجة عن تراجع المجرة، ولكن هذا أمر يسهل فعله. كما أنه لن تنشأ أي مشكلة كبيرة إذا لم تتم رؤية المجرة عند حرفها بالضبط، وإنما بزاوية. ففي هذه الحالة سنحتاج فقط إلى رصيد الزاوية التي تتم بها رؤية المجرة، وأن نستخدم القليل من حساب المثلثات لإجراء التصحيحات اللازمة.

وعندما يتم إجراء هذه المشاهدات، سنجد أن قدراً له اعتباره من المادة المظلمة موجود خارج أقراص المجرة المرئية. والحقيقة أننا كلما زدنا بعداً عن المركز، زاد ما نجده من الكتلة. ويبدو أن قدراً كبيراً من المادة غير المرئية موجود معاً داخل المجرات ومن حولها. فالمادة المظلمة واسعة الانتشار حقاً.

ما لا تكونه المادة المظلمة:

نوقشت مشكلة طبيعة المادة المظلمة نقاشاً واسعاً، وطرحت احتمالات عديدة غريبة. ولن نفيد كثيراً من مناقشة تلك الاحتمالات إلا إذا تخلصنا أولاً من احتمالات أخرى أمرها أكثر وضوحاً. وسوف أبدأ إذن بمناقشة ما هو واضح من أن

المادة المظلمة «لا» تكونه.

فالمادة المظلمة ليست من الغبار الموجود بين النجوم، وهي ليست شكلاً من الغاز الموجود بين النجوم أو بين المجرات. والمجرات تحوي بالفعل سحباً من الغبار، كما يوجد الغاز في داخل المجرات وأيضاً فيما بينها من مسافات. وعلى كل، فإن الغبار والغاز يمكن رؤيتهما، وقد ثبت بسهولة أنهما على الحد الأقصى لا يمكن أن يصلا إلا لكسر صغير من المادة المظلمة. والغبار تسهل رؤيته لأنه يعتم الضوء الآتي من النجوم الأكثر بعداً. والغاز يمكن رؤيته لأنه يبعث إشعاعاً: فالغاز البارد يبث موجات راديو، بينما يبث الغاز الساخن أشعة فوق بنفسجية أو أشعة إكس.

ويتفق أيضاً أن الكون مليء بأشعة إكس التي تأتي من كل الاتجاهات في السماء، على أنه قد تبين أن معظم أشعة إكس هذه تأتي من مصادر أخرى غير سحب الغاز. وكمثل، فإن الكوازارات، تلك الأجرام البعيدة التي يعتقد أنها القلوب المضيئة للمجرات التي تشكلت حديثاً، هي مصدر عام لأشعة إكس. وهكذا فإنه يمكننا أن نضع حدوداً لما يمكن وجوده من مقادير الغاز الساخن، وقد ثبت في النهاية أنه لا يمكن أن يوجد منه المقدار الكافي لأن يعلل كمية المادة المظلمة.

ولو كان الكون مليئاً بقطع من الصخر أو الثلج أو حتى «بكرات ثلج» من الهيدروجين المتجمد، لكان في هذا ما يمكن أن يمد بتفسير للمادة المظلمة. على أنه ليس هناك من ينظر لمثل هذه الاحتمالات نظرة جدية. ولو كان يمكن النظر جدياً إلى نظرية من مثل هذا، لأصبح من الضروري طرح تفسير معقول لأصل هذه الأشياء، ولم يطرح أحد قط فكرة معقولة تفسر من أين يمكن أن تأتي هذه الأشياء.

ومن الناحية الأخرى، يمكننا إحياء الرأي الذي طرحه أورت أصلاً، ثم أهمل بعدها. فالمادة المظلمة يمكن أن تكون مصنوعة من نجوم دقيقة الصغر، نجوم هي أعتم من أن ترى. ومما يتعلق بذلك، أنها قد تكون مصنوعة من أجرام كان يمكن أن تكون نجوماً لو أنها فحسب كانت أكبر قليلاً، مثلها في ذلك مثل كوكب المشتري. وبهذه المناسبة، فإن المشتري يمكن أن يوصف بأنه «نجم فاشل». وهو يتكون من حوالي ٢٥ في المائة هليوم و٧٥ في المائة هيدروجين، وهذا التكوين هو عملياً مماثل لتكوين الشمس. ولو كان المشتري أكبر قليلاً فحسب، لضغطت

الجاذبية المادة التي في قلبه للدرجة التي يمكن أن تبدأ بها تفاعلات نووية مثل تلك التي تجري في الشمس. وستكون منظومتنا في هذه الحالة منظومة ثنائية النجوم.

وأخيراً، فمن الممكن أن تكون المادة المظلمة مكونة من ثقوب سوداء. والثقب الأسود هو البقية الثقيلة لنجم ميت، وله مجال جاذبية قوي جداً بحيث لا يستطيع أي شيء أن يفلت منه ولا حتى الضوء. وفيما يعرض، فليس حقيقياً أن من المستحيل رؤية الثقب الأسود. فمجالات الجاذبية الشديدة التي تحيط بالثقوب السوداء تجذب المادة إلى داخلها، وهذه المادة تتوهج عندما تعجّل سرعتها. وهكذا يمكن أن يكون الثقب الأسود ناصعاً تماماً.

ورغم أن الفلكيين يعتقدون أن بعض الأجرام التي رصدت هي ثقوب سوداء، إلا أن أحداً لا يعرف حقاً عدد ما يوجد منها في الكون. ومازالت تفصيلات تكوين النجوم غير مفهومة بالكامل، وإلى أن يتم ذلك سيكون من المستحيل تقدير عدد النجوم التي يمكن أن توجد بالحجم الكبير الكافي لتكوين ثقوب سوداء عند موتها. على أنه يبدو من غير المحتمل أن قد يوجد في المجرة النمطية عدد من الثقوب السوداء يكفي لتفسير المقدار الذي كشف عنه في المادة المظلمة. وبالإضافة، فإننا لا نتوقع أن نجد الكثير من الثقوب السوداء في الهالات التي تحيط بالمجرات، حيث إن النجوم في هذه المناطق قليلة العدد.

المادة الباريونية وغير الباريونية:

ليس هناك إذن برهان على أن المادة المظلمة تتكون من نجوم معتمة، أو كواكب «كالمشتري» أو ثقوب سوداء. ولكن لو كانت المادة المظلمة مادة عادية ـ مادة مصنوعة من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات ـ فإن من الواضح أن ليس هناك احتمالات أخرى. ومن المؤكد أن المادة عندما تتقلص إلى ثقوب سوداء يصعب أن نسميها بأنها مادة «عادية» ومع ذلك، فإن الثقوب السوداء قد تكونت من نجوم ضخمة لها تركيب كيماوي يماثل تركيب الأجرام الأخرى التي نظرنا في أمرها.

وقد تكلمت حتى الآن عن المادة «العادية». على أن مصطلح «المادة الباريونية»، لهو المصطلح الأدق، وهو ما يستخدمه الفيزيائيون. والمادة الباريونية هي كذلك بالضبط، فهي مادة مصنوعة من الباريونات. وعملياً، فإن هذا يعني النيوترونات

والبروتونات، حيث إن كل الباريونات الأخرى لا تُرى عموماً إلا في المعمل فقط. ومن الحقيقي أن المادة العادية تحوي أيضاً إلكترونات، وهذه ليست باريونات. على أن الكتلة التي تساهم بها الإلكترونات صغيرة جداً. فالإلكترون يزن فحسب ١٨٣٦/١ من البروتون. والإلكترونات تشكل إذن ١٨٣٧/١ من كتلة ذرة الهيدروجين، وتشكل فقط ٣٦٧٥/١ من كتلة الهليوم.

وقد اكتشف العلماء في السنوات الحديثة حججاً نظرية قوية يبدو أنها تتضمن أن الجزء الأكبر من الكتلة الموجودة في الكون يجب أن يكون غير باريوني. وإذا كانت هذه الحجج صحيحة، فإن المادة المظلمة لا تتكون إذن على الإطلاق من البروتونات والنيوترونات (ولا الإلكترونات). وهي ربما تكون مصنوعة من جسيمات غريبة الشأن لم تُر بعد في المعمل، أو ربما هي مصنوعة حتى من أشياء لا يمكن إطلاقاً تسميتها على النحو الصحيح «بالجسيمات».

وقد رأينا في الفصل الثالث مشاهدات عن كميات الهليوم والديتريوم الموجودة في الكون تمد بإثبات قوي لنظرية الانفجار الكبير. وقد أوضحت أن ما نلاحظه من كميات الهليوم هو أعظم كثيراً من المقادير التي يمكن صنعها في النجوم. وما نراه أيضاً من الديتريوم لا يمكن مطلقاً أن يكون قد تم إنتاجه في النجوم، ويمكن فقط أن يكون قد تخلق في الانفجار الكبير.

وقد رأينا أنه يمكن استخدام قياسنا لمقادير الهليوم لاستنباط عدد الأنواع المختلفة من النيوترينو التي يمكن أن توجد (انظر الفصل الخامس). وينبغي إذن ألا ندهش إذا اكتشفنا أن قياس نسبة توافر الديتريوم له أيضاً تضمينات هامة.

والأمر يكون هكذا حقاً بمجرد أن نتبين أنه لا يوجد الآن من الديتريوم الذي تخلق في الانفجار الكبير سوى البعض منه. فلا بد وأن الكثير من نوى الديتريوم التي تخلقت في كرة نيران الانفجار الكبير قد اصطدمت سريعاً إحداها بالأخرى لتشكل هليوماً. وهكذا فإن نسبة وفرة الديتريوم الآن هي على علاقة بكثافة المادة في الكون المبكر. وكلما كانت كثافة المادة وقتها أكثر، زاد عدد ما يمكن وقوعه من الاصطدامات. وهكذا فإن مشاهداتنا الآن عن مدى وفرة الديتريوم ينبغي أن تخبر العلماء عن مدى كثافة الكون فيما مضى من الزمن.

على أننا لو عرفنا مدى كثافة الكون عندما كان عمره دقائق معدودة، لأمكننا

أن نحسب ما ينبغي أن تكونه كثافته الآن. وتبين الحسابات المؤسسة على قياس كميات الديتريوم في الكون الحالي أن كثافة المادة الباريونية لا يمكن أن تكون أكثر من ٢٠ إلى ٣٠ في المائة من الكثافة الحرجة المطلوبة ليصبح الكون مغلقاً. والحسابات تخبرنا فقط عن مقدار المادة الباريونية التي ينبغي أن تكون موجودة طبيعياً. وعلى كل، فإن نواة الديتريوم تتكون من بروتون ونيوترون، وهذان الجسيمان كلاهما من الباريونات.

ويمكن إجراء حسابات مماثلة تتأسس على ما يلاحظ من نسبة توافر الهليوم ٣ والليثيوم ٧. والهليوم ٣ هو شكل من الهليوم حيث يوجد في النواة ثلاثة جسيمات، بروتونان ونيوترون واحد، وذلك بدلاً من الجسيمات الأربعة المعتادة (بروتونان ونيوترونان). والليثيوم ٧ هو شكل من معدن الليثيوم حيث يوجد في النواة سبعة جسيمات، ثلاثة بروتونات وأربعة نيوترونات. وهاتان المادتان كلتاهما موجودتان بكميات أصغر حتى من الديتريوم. وكمثل، فإن الليثيوم ٧ يسهم فقط بما يقرب من جزء من عشرة بلايين من الكتلة الكلية للكون. على أنه في إمكاننا أن نقيس مثل هذه النسبة من الوفرة. وتبين الحسابات أن كثافة المادة الباريونية هي ما بين ٣ إلى ١٢ في المائة من الكثافة الحرجة. وهذه النتيجة تتفق وتلك التي نحصل عليها من قياس كميات الديتريوم حيث إن رقم ٢٠ إلى ٣٠ في المائة المذكور أعلاه هو فحسب الحد الأقصى.

وعندما تم لأول مرة إجراء الحسابات التي من هذا النوع في الستينيات، وصل العلماء لما بدا وقتها أنه استنتاج طبيعي. فما دامت كثافة المادة أقل كثيراً من القيمة الحرجة، فيجب إذن أن يكون الكون مفتوحاً؛ ومصير الكون هو أن يتمدد إلى الأبد. ولم يخطر ببال أحد أنه ربما توجد أشكال غير باريونية من المادة تساهم بقدر له اعتباره في الكتلة الكلية للكون. والمادة غير الباريونية لم تكن وقتها تعد حتى كأحد الإمكانات النظرية.

على أن الأمور قد تغيرت منذ ذلك الوقت بما له اعتباره. وتتضمن النظريات الجديدة في مجال فيزياء الجسيمات أنه يمكن أن توجد أنواع عديدة مختلفة من الجسيمات لم تتم رؤيتها بعد في المعمل. وإذا كان لهذه الجسيمات وجود حقاً، فإنها قد تساهم إسهاماً له دلالته في كثافة الكتلة الكلية للكون. وبالإضافة، فإنه

يبدو أن نظريات الكون الانتفاخي تتضمن أن إجمالي كثافة الكتلة هو أكبر كثيراً من نسبة ٢٠ إلى ٣٠ في المائة التي تدل عليها محاجة الديتريوم. وإذا كان هذا هو الحال، فإن الجزء الأكبر من المادة في الكون هو ولا بد غير باريوني.

والحقيقة أنه إذا كان قد وقع تمدد انتفاخي، فإن كثافة الكون لا بد وأن تساوي القيمة الحرجة، أو أن تكون قريبة منها بحيث أنه قد لا يمكننا أبداً أن نقيس الفارق بينهما. والنظريات الانتفاخية كما رأينا في الفصل الرابع، تتطلب أن يكون الكون على الخط الفاصل بين الحالين. فالكون قد يكون مفتوحاً بالكاد، أو هو مغلق بالكاد. وكثافة الكتلة في أي من الحالين، يجب أن تكون قيمتها على الحد الفاصل أيضاً.

ففي الكون الانتفاخي إذن، لا بد وأن يكون ٧٠ في المائة على الأقل من المادة مادة غير باريونية، وإن كان من الممكن بلا ريب أن تصل المادة غير الباريونية إلى ٩٠ في المائة من كتلة الكون، أو حتى أكثر من ذلك. والكتلة المضيئة في الكون - أي تلك التي توجد في النجوم والأجرام الأخرى المتوهجة - هي فحسب حوالي ١ في المائة من الكثافة الحرجة.

جسيمات النيوترينو:

طرح فرض وجود النيوترينو في ١٩٣٠، ثم افترض العلماء بعدها طيلة ما يقرب من خمسين عاماً أن كتلة هذا الجسيم هي الصفر، وأنه ينتقل بسرعة الضوء. على أنه لم يكن هناك حقاً أي سبب معين يوجب أن تكون هذه الكتلة صفراً. أما السبب في الإبقاء على هذا الفرض فهو ببساطة عدم وجود أي دليل على عكسه.

على أنه في حوالي بداية الثمانينيات من القرن، تم إجراء تجربتين تدلان على أن النيوترينو رغم ذلك قد تكون له كتلة صغيرة. وأصبح واضحاً في التو، أنه إذا كان هذا هو الحال حقاً، لأمكن أن تكون جسيمات النيوترينو هي الشكل الغالب للمادة التي في الكون. ولما كان هناك ما يقرب من بليون نيوترينو مقابل كل باريون واحد، فإن وزن جسيمات النيوترينو يكون أكبر من وزن كل الجسيمات الأخرى مجتمعة حتى ولو كان وزن النيوترينو هو فقط جزء من كتلة الإلكترون.

وفي ١٩٨٠ كان هناك ثلاثة فيزيائيين يعملون بجامعة كاليفورنيا في ارفين، وهم فريدريك رينز، وهنري و. سوبل، وايلان باسيرب، وقد كتبوا وقتها تقريراً بأنهم رصدوا تذبذبات للنيوترينو. وبكلمات أخرى، فقد وجدوا أن كل نوع من النيوترينو يمكن أن يتغير إلى النوع الآخر. وكمثل، فإن نيوترينو الإلكترون قد يتحول إلى نيوترينو الميون، ثم يتحول ثانية إلى نيوترينو الإلكترون في وقت لاحق. أو أنه قد تحدث تذبذبات بين جسيمات نيوترينو الإلكترون والتاو، وهذه الظاهرة بالذات هي ما يعتقد أصحاب التجربة الثلاثة أنهم قد اكتشفوه.

وحسب النظرية المقبولة حالياً، لا يمكن أن تحدث تذبذبات النيوترينو إلا إذا كانت لجسيمات النيوترينو كتلة. ولم تذكر تجربة رينز - سوبل - باسيرب القدر الذي ينبغي أن تكون عليه هذه الكتلة، ولكنها كما يبدو بالفعل تتضمن أنها لا يمكن أن تكون صفراً.

وقد انطوت التجربة على الكثير مما هو غير مؤكد، من ذلك حقيقة أن نيوترينو التاو لم يتم قط اكتشافه. على أنه عندما اختفت بعض جسيمات نيوترينو الإلكترون لفترة ما، افترض ببساطة أنها قد تحولت إلى نوع نيوترينو التاو. وهكذا فإن أصحاب التجربة لم يستطيعوا الزعم بأن نتائجهم حاسمة، ووافقوا على أن من اللازم تأكيد نتائجهم بتجارب أخرى.

ورغم أنه ليس هناك تجارب تأكيدية على وشك أن تجرى في التو، إلا أن هذه النتيجة مازالت تجذب انتباه الكثيرين. وثمة أسباب عديدة لذلك. وأحدها هو حقيقة أن النظريات الموحدة الكبرى تتضمن فيما يبدو أنه ينبغي أن تكون هناك كتلة لجسيمات النيوترينو. وهناك سبب آخر، يتعلق بمكانة واحد ممن أجروا التجربة. ذلك أن رينز قد أجرى في ١٩٥٦ تجربة بالاشتراك مع فيزيائي آخر هو كلايد ل. كوان الصغير، وتم في هذه التجربة البرهنة نهائياً على وجود النيوترينو، بعد مرور ستة وعشرين عاماً من طرح فرض وجوده لأول مرة.

وتلى ذلك أن زاد الاهتمام باحتمال وجود كتلة للنيوترينو عندما كتبت مجموعة من العلماء في معهد الفيزياء النظرية والتجريبية في موسكو تقريراً ذكروا فيه أنهم قد أجروا قياساً لكتلة نيوترينو الإلكترون بطريقة مباشرة، وأنهم وجدوا أنها تتراوح بين ١٤ إف و٤٨ إف.

ولم تحز هذه النتيجة السوفيتية تقبلاً واسعاً. فالتجربة كانت من التجارب الصعبة، والمقدار الذي يفترض أنه قد تم قياسه هو مقدار صغير جداً. ومع ذلك، فإن الفيزيائيين النظريين في سائر العالم قد انطلقوا في المعمل ليحسبوا ما يمكن أن تكونه دلالات وجود كتلة للنيوترينو. وسرعان ما وجدوا أنه لو كانت كتلة نيوترينو الإلكترون هي حتى ٢ إف فقط، فإن وزن كل ما هو موجود من جسيمات النيوترينو معاً سيكون أكبر من وزن كل المادة الباريونية التي في الكون. وبالإضافة، فإنه لو كان وزن النيوترينو ١٤ إف، فإن هذه الجسيمات ستسهم بتسعين في المائة من كتلة الكون.

وبالإضافة إلى ذلك، فإنه إذا كان لجسيمات النيوترينو كتلة، فإنها لن تتمكن من الانتقال بسرعة الضوء. وفي هذه الحالة، فإنه يمكن إبطاء سرعتها بما يسمح بأن يتم أسرها بواسطة جاذبية تجمعات المجرات. ولا شك أن من الممكن أن تكون الهالات المظلمة المحيطة بالمجرات مكونة من جسيمات النيوترينو. وفيما يتعلق بذلك، فإنه يبدو أنه لا يوجد سبب يمنع أن تكون تركيزات من جسيمات النيوترينو هي المسؤولة أولاً عن تكوين المجرات. وإذا كانت الجاذبية قد سببت تجمع جسيمات النيوترينو معاً بعد الانفجار الكبير بزمن قصير، فمن الممكن أن تكون المادة العادية قد تجمعت بعد ذلك في تكتلات من جسيمات النيوترينو. وشد الجاذبية كفيل بذلك. وحيث إن جسيمات النيوترينو لا تبث ضوءاً، فإن اتساق إشعاع الخلفية الكونية لن يكون بمشكلة.

وبدا لزمن قصير أن العلماء قد قطعوا شوطاً كبيراً نحو حل مشكلة تكوين المجرات، ولكن سرعان ما أخذت المشاكل تنبثق. فالنتائج التجريبية التي تدل على أن جسيمات النيوترينو لها كتلة لم يتم تأكيدها، وأصبح العلماء يتشككون فيها. وصار من الواضح أن أحداً لا يمكنه أن يقول حقاً ما إذا كان لجسيمات النيوترينو كتلة أم لا.

وهناك صعوبات نظرية أيضاً. فحيث إن جسيمات النيوترينو هي جسيمات خفيفة جداً، فمن الواضح أنها ستنبثق من الانفجار الكبير بسرعة قريبة من سرعة الضوء، وقد عُجلت سرعتها بالطاقة المتاحة. ولكن جسيمات النيوترينو التي تتدفق منطلقة هكذا لا يمكن لها أن تخلق تركيزات الكتلة في الكون؛ وبدلاً من ذلك

فإنها ستحطم أي تركيزات للكتلة. وبكلمات أخرى، لو حدث بطريقة ما أي تكتلات للمادة في حجم مجرة، فإن جسيمات النيوترينو سوف تشتتها بدداً.

ولا يمكن لجسيمات النيوترينو أن تبدأ في التكتل معاً إلا بعد أن تبطئ سرعتها لما يقرب من عُشر سرعة الضوء. ولكن الحسابات تدل على أنه إذا حدثت فعلاً عملية كهذه، فإن جسيمات النيوترينو سوف تشكل تركيزات من المادة في حجم تجمعات فائقة من المجرات. وهذه التجمعات الفائقة سيكون عليها بعدها أن تتفكك إلى مجرات منفردة.

وتسمى هذه الخطة سيناريو تشكيل المجرات من أعلى لأسفل. فتركيزات المادة ذات الحجم الكبير هي التي تتخلق أولاً، ثم يتبعها فيما بعد التركيزات الأصغر. ورغم أنه قد يبدو في أول الأمر أن من المعقول أن تتخلق المجرات على هذا النحو إلا أن ثمة مشكلة خطيرة هنا: فالزمن المطلوب لتكوين المجرة هكذا زمن طويل جداً. وتمثيل ذلك بالكمبيوتر يدل على استكمال هذه العملية يتطلب ما يصل إلى أربعة بلايين عام. إلا أن هناك دليلاً على أن المجرات قد وجدت بالفعل بعد الانفجار الكبير ببليوني عام فحسب. ويبدو أنه لا بد وأن نستنتج أن الفرض القائل بأن جسيمات النيوترينو لها كتلة لا يحل مشكلة وجود المادة المظلمة.

المادة المظلمة الساخنة والباردة:

الجسيمات من مثل جسيمات النيوترينو التي تنبثق من الانفجار الكبير بسرعات عالية، والتي ربما تتكتل معاً بهذه الطريقة تسمى المادة المظلمة الساخنة. ومصطلح «ساخن» هنا لا علاقة له بالحرارة العامة للكون في ذلك الوقت. وإنما هو ببساطة يشير إلى حقيقة أن هذه الجسيمات كانت تتحرك بسرعة.

ومن الناحية الأخرى فإن المادة المظلمة الباردة، هي ما يصنع من جسيمات تنبثق من الانفجار الكبير بسرعات منخفضة نسبياً. ومرة أخرى فإن كلمة باردة لا علاقة لها بالحرارة العامة للكون، وإنما يمكن تمثيل الأمر بأن الجزيئات التي في جرم ساخن تتحرك حركة سريعة، بينما تلك التي في جرم بارد تتحرك بسرعة أبطأ كثيراً. وجسيمات المادة المظلمة الباردة هي أثقل كثيراً من جسيمات المادة المظلمة الساخنة، وسبب ذلك بسيط وهو أن الجسيمات الثقيلة لها قصور ذاتي أكبر

وبالتالي فإن تعجيل سرعتها أصعب.

والفيزيائيون يتحدثون أحياناً عن الجسيمات التي يمكن أن تصنع المادة المظلمة الباردة على أنها ويمبات (WIMPs)، أو جسيمات ثقيلة ضعيفة التفاعل. والويمبات لم يتم حتى الآن رصدها في الوجود. على أن هناك، كما رأينا في الفصل الخامس، أسباباً نظرية للاشتباه في وجود عدد من أنواع مختلفة من الجسيمات التي لم تتم بعد رؤيتها، ويأمل العلماء أنهم سيتمكنون من تخليق بعضها في التجارب التي ستجرى على المعجل فائق التوصيل والاصطدام SSC.

وفي نفس الوقت، فليس من خطأ في أن ننشغل ببعض النظر بالتخمين، لنحاول أن نرى إلى أي شيء سيقودنا الفرض بوجود مادة مظلمة باردة. ويترتب على ذلك أن علماء الكونيات حاولوا أن يبحثوا إذا كان يمكن لهذا النوع من المادة أن ينتج مجرات وتجمعات مجرات بالأحجام المرصودة.

وقد ثبت في النهاية أن افتراض وجود المادة المظلمة الباردة هو من أحد الوجوه ناجح جداً. فحيث أن الويمبات تنبثق عن الانفجار الكبير بسرعات منخفضة فإنها لن يكون لها إلا جريان بطيء أو لا جريان على الإطلاق، وهكذا فإن تركيزات الكتلة لن تتشتت. والحقيقة أن المادة هكذا يمكن أن تكون قد أخذت تتكتل معاً بسرعة كبيرة نسبياً. وسوف تتكون التكتلات الصغيرة أولاً. أما التكتلات الأكبر، مثل تجمعات المجرات والتجمعات الفائقة للمجرات، فإنها تتكون فيما بعد. وهذا السيناريو من أسفل لأعلى، تتخلق فيه المجرات بسرعة كبيرة نسبياً.

ولسوء الحظ، فإن نظرية المادة المظلمة الباردة أحاطت بها المشاكل، مثلها في ذلك مثل فرض المادة المظلمة الساخنة. وفيما يبدو، تؤدي بنا الفروض التي تأسست عليها النظرية إلى التنبؤ بأن المجرات التي في الحجم المناسب تقريباً تتشكل في الوقت المناسب تقريباً، إلا أن النظرية غير قادرة كما يبدو على تفسير ما يرصد في الكون من بنيات ذات حجم كبير. فقد اكتشف الفلكيون أن المجرات وتجمعات المجرات تتجمع معاً كما يبدو في سلاسل وخيوط طويلة، وأن هناك فراغات هائلة، يقاس عرضها بما يبلغ ٢٥٠ مليون سنة ضوئية، ولا يوجد فيها إلا مجرات معدودة أو هي خالية من المجرات. ولكن فرض المادة المظلمة يتضمن فيما يبدو أن المجرات ينبغي أن تتوزع خلال الكون كله بما هو تقريباً توزيع عشوائي.

وهكذا فإنه يبدو أن فرض المادة المظلمة الساخنة ليس مما يصلح، لا هو ولا فرض المادة المظلمة، أو هما على الأقل لا يصلحان وهما في أنقى شكل لهما، على أن هذا لا يتضمن بالضرورة وجوب إهمال هذه الأفكار تماماً. فمن الممكن أن بعض تعديل لأحد السيناريوهات أو الآخر قد ينتج عنه نتائج مقبولة. والحقيقة أن تعديلاً من هذا النوع ستتم مناقشته بعد زمن قصير. ولعله يحسن بنا أولاً أن ننظر في إحدى النظريات البديلة لنظريات المادة المظلمة الساخنة والباردة.

المادة الظل:

سوف أناقش في الفصل الثامن مجموعة من النظريات تسمى نظريات الأوتار الفائقة، تسبب حالياً قدراً كبيراً من الإثارة في مجتمع الفيزياء النظرية. وحيث أننا سنوصفها فيما بعد بالتفصيل، فلا داعي لأن نتحدث عنها هنا كثيراً. على أنه ينبغي أن أذكر أن بعض هذه النظريات تتنبأ بوجود مادة غريبة تسمى المادة الظل، وهي لا تتفاعل مع المادة العادية إلا من خلال قوة الجاذبية. وهذا يعني أنها لا يمكن رؤيتها ولا الإحساس بها.

والمادة الظل لا يمكن رؤيتها لأن الضوء شكل من الإشعاع الكهرومغناطيسي، والمادة التي لا تحس بالقوة الكهرومغناطيسية لن تبث الضوء ولن تعكسه. والمادة الظل لا يمكن الإحساس بها لأن الكهرومغناطيسية هي أيضاً مسؤولة عن القوى التي تمسك بالذرات والجزيئات معاً. ولو حاول أحد أن يقبض على قطعة من المادة الظل، فإن يديه ستمران مباشرة من خلالها.

وقد قيل أنه يمكن للواحد أن يمشي من خلال جبل من المادة الظل أو أن يقف فوق قاع محيط من المادة الظل ولا يعرف البتة أن ذلك قد حدث. على أنه حتى لو كانت المادة الظل حقيقة، فإن أشياء من هذا القبيل لن توجد فيما يحتمل. ومن المؤكد أن جسيمات مادة الظل يمكن أن يتفاعل أحدها مع الآخر حسب قوانين فيزيائية تماثل قوانين عالمنا. ومن المحتمل بالكاد فحسب أنه يمكن وجود نجوم وكواكب من المادة الظل، وربما حتى كائنات عضوية من المادة الظل، ولكن الاحتمال الأكبر هو أن قوانين الطبيعة ستكون مختلفة في عالم مادة الظل، وأنها ستكون مختلفة جد الاختلاف بحيث لن تتخلق أي من هذه الأشياء.

ولو كان للمادة الظل وجود بالفعل، فلعلها ستتكون مما لا يزيد عن كونه تكتلات من الجسيمات تشبه تركيزات المادة التي يمكن أن يتم إنتاجها فيما يفترض بواسطة المادة المظلمة الساخنة أو الباردة - على أنه حتى بالنسبة لهذه النقطة، فإن الأمر مجرد إمكان شاذ. وإذا كان العلماء يناقشون إمكان وجود المادة الظل، فإن هذا ليس نتيجة لوجود أسباب قوية للتفكير في أنها حقيقية، فلا يوجد حتى الآن أية أسباب كهذه. والعلماء إنما يناقشون الأمر لأن من الضروري النظر في كل فكرة ممكنة إذا كان لنا أن نتأكد بدقة مما تكونه المادة المظلمة في كوننا.

الأوتار الكونية:

وأحد الإمكانات الأخرى هو أن المادة المظلمة ربما تتكون من أوتار كونية، ولو على الأقل في جزء منها. والأوتار الكونية لا علاقة لها بنظرية الأوتار الفائقة رغم تشابه الأسماء، فهي شقوق في بنية المكان - الزمان، هي حسب ما تقوله بعض النظريات الموحدة الكبرى ونظريات السمترية الفائقة، ربما تكون قد تخلقت عندما كان عمر الكون هو ما يقرب من ١٠-٣٥ ثانية.

والوتر الكوني هو ثغرة انقطاع تتخلق عندما تتعرض المجالات الكمية في الكون المبكر إلى تغيرات مفاجئة. وهو يحمل بعض مشابهة لصدع في ماسة أو لشق مما قد يظهر على سطح بحيرة متجمدة. ولو كانت الأوتار الكونية موجودة الآن، لكان لها شكل تركيزات طويلة من الطاقة تشبه الخيط. وبهذه المناسبة، ينبغي التأكيد على أن العلماء ليس لديهم أي دليل على وجود الأوتار الكونية. وكل ما يمكنهم قوله هو أن وجودها أمر فيه من التخمين أقل مما في وجود المادة الظل.

وإذا كان للأوتار الكونية وجود، فإنها يجب أن تكون ثقيلة جداً. والقطعة الواحدة من الوتر التي في حجم ذرة سيكون وزنها بليون من الأطنان، والقطاع منها الذي يكفيَ طوله لأن يمتد عبر ملعب كرة قدم سيكون وزنه كوزن الأرض. وهكذا فإن الأوتار الكونية يمكن بلا ريب أن تكون قد لعبت دوراً مهماً في تكوين المجرات، حيث أن كتلتها الهائلة سينتج عنها بكل تأكيد تركيزات للمادة.

على أننا لا يمكننا أن نستنتج أن الأوتار الكونية ربما تكون هي التي تؤلف المادة المظلمة الموجودة الآن. فمعظم الأوتار ستكون الآن قد تبخرت. وتتنبأ النظرية

بأن الأوتار الكونية تتذبذب بسرعة كبيرة تماماً، وأن طاقتها سوف تتشعع بدداً. وهكذا فإن الأوتار تتبخر؛ وعلى كل فإنها ليست إلا طاقة. وأصغر الأوتار سيختفي بأقصى سرعة، بينما الأوتار الأكبر قد تظل باقية لزمن أطول بعض الشيء.

ورغم أن أوتاراً كونية معدودة قد تكون لا تزال باقية للآن، إلا أنها لا يمكن أن تفسر السبب في أن المجرات وتجمعات المجرات لها ما لها من أشكال. والحقيقة أنه يبدو أن افتراض وجود الأوتار الكونية له القدرة على «إنقاذ» نظرية المادة المظلمة الساخنة. فلو كان هناك أوتار في الكون المبكر، لأمكن لجسيمات النيوترينو أن تتجمع من حولها. وشد الجاذبية الإضافي الذي تخلقه الأوتار سيؤدي إلى تكون المجرات في وقت أكثر تبكيراً مما كان يمكن حدوثه بواسطة جسيمات النيوترينو وحدها.

وعلى نحو ما، تبدو النظرية أبرع بعض الشيء من أن تكون صادقة، ذلك أنها تنادي بأن المجرات قد نتجت فيما يفترض عن الأوتار الكونية، التي ما أن تقوم بمهمتها حتى يحدث لها بما هو ملائم أن تتشعّع بعدها إلى الصدم. والإيمان بهذه النظرية كان سيزداد قوة بما له اعتباره، لو أمكن العثور على بعض دليل على وجود الأوتار الكونية، بما يسهل بعض الشيء الإيمان بأن هذه الأوتار كانت في وقت ما أوتاراً عديدة.

والعثور على دليل كهذا قد لا يكون مهمة ميؤوساً منه كما قد تظن. وحيث أن الأوتار الأكبر تعيش زمناً أطول، فإن من الممكن تماماً أن بعض هذه الأوتار كانت ضخمة بما يكفي لأن تظل باقية حتى الوقت الحالي، فإذا كان لأوتار كهذه وجود، فإن هناك وسائل عديدة يمكن بها الكشف عن وجودها. وكمثل، فإن ما تخلفه الأوتار من مجالات جاذبية سوف يحني أي أشعة ضوء يحدث أن تمر بجوارها، ذلك أن الضوء، حسب نظرية النسبية العامة لآينشتين، يتأثر بالجاذبية، وهذه ظاهرة تم رصدها في مناسبات مختلفة عديدة.

ويمكن فيما يفترض، الكشف عن وجود وتر كوني من خلال ظاهرة العدسة الجذبوية. فإذا كان لأحد الأوتار موضعه بين الأرض وكوازار بعيد أو مجرة بعيدة، فإن الضوء الآتي من هذا الجرم إذ ينتقل إلى الأرض يمكن أن ينحني حول كل من

جانبي الوتر. وعندها سوف يرى الفلكيون صورتين أو أكثر للمجرة أو الكوازار بدلاً من صورة واحدة.

والأوتار الكونية ستبث أيضاً إشعاعاً جذبوياً. وسيكون في هذا ما يماثل الإشعاع الكهرومغناطيسي المصاحب للقوة الكهرومغناطيسية. وحيث إن الجاذبية قوة أضعف كثيراً من الكهرومغناطيسية، فإن موجات الجاذبية ستكون أضعف، ويكون الكشف عنها أصعب من الكشف عن أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي من مثل الضوء وموجات الراديو وأشعة إكس. والعلماء لم يتمكنوا بعد من اختراع أي وسيلة تجريبية للتحقق من وجود أمواج جاذبية هكذا.

ومع كل، فإن مستوى التكنولوجيا التجريبية يرتفع باستمرار، وتطرح الأفكار الجديدة باستمرار. وهناك سبب للاعتقاد بأن الإشعاع الجذبوي سيتم رصده خلال سنوات ليست كثيرة جداً. وبالإضافة، فقد طرحت بالفعل وسائل غير مباشرة للكشف عن أمواج الجاذبية التي قد تنتج عن الأوتار الكونية.

وعلى وجه التحديد، هناك حسابات تدل على أن الإشعاع الجذبوي الناتج عن الأوتار الكونية تكون له تأثيرات على سلوك النابضات، هي مما يمكن رصده. والنابضات هي نجوم متقلصة، تدور سريعاً وتبث موجات راديو أو إشعاع آخر في نبضات على فترات متساوية. وكنتيجة لدوران النابضات، فإن حزم الإشعاع التي تبثها تندفع عبر الأرض بمثل حزمة أشعة ضوء الكشاف الذي يندفع عبر هدف ساكن. والإشعاع الجذبوي الذي ينبعث من الأوتار الكونية يمكن أن يتسبب في أن يصبح توقيت هذه النبضات غير منتظم بعض الشيء. وأثناء كتابة هذا، فإن التكنولوجيا التجريبية لم تصل بعد للدقة الكافية للكشف عن عدم انتظام كهذا. وعلى كل، فإن هناك كل سبب للاعتقاد بأنه سيتم في المستقبل ما يكفي من التحسن بحيث يمكن إجراء هذه التجربة.

هل المادة المظلمة موجودة حقاً ؟

نعم، إنها موجودة. فهذا قد تم إثباته على نحو جازم. فقد تم الكشف عن الكتلة غير المضيئة في أماكن عديدة من الكون. والحقيقة أنه قد تبين أن ٩٠ في المائة على الأقل من كتلة المجرات تقع في الهالات المظلمة.

ومن الناحية الأخرى، لا يمكن الإجابة ببساطة عن سؤالنا «هل المادة المظلمة غير الباريونية موجودة حقاً ؟» ذلك أن من المعقول أن نفترض أن بعضاً على الأقل من المادة المظلمة التي تم الكشف عنها هي مادة باريونية. وهي مما يمكن أن يوجد كنجوم معتمة، أو كأشباه «المشتري»، أو كثقوب سوداء، أو حتى كمجرات فاشلة (المجرة الفاشلة هي كتلة كبيرة من الباريونات قد تم تكثفها بالجاذبية، ولكن لم تنتج عنها نجوم ـ ولا أحد يعرف ما إذا كانت المجرات الفاشلة موجودة حقاً أم لا).

وكثافة المادة المضيئة في الكون هي حوالي ١ في المائة من الكثافة الحرجة. ومن الممكن أن يوجد من المادة المظلمة الباريونية عشرة أمثال ذلك. ومع كل فلو صحت المحاجة النظرية التي تتأسس على ما يلاحظ من نسبة توافر الديتريوم، والهليوم٣، والليثيوم٧، فإن إجمالي المادة المظلمة الباريونية لا يمكن أن يزيد كثيراً عن حوالي ١٠ في المائة من الكثافة الحرجة.

وليس هناك غير سبب واحد للاعتقاد بوجود مادة مظلمة غير باريونية: فوجود هذه المادة هو مما تتنبأ به نظريات الكون الانتفاخي. فإذا كان النموذج الانتفاخي صحيحاً، فإن كثافة كتلة الكون لا بد إذن أن تكون قريبة جداً من الكثافة الحرجة. والقيود الموجودة بالنسبة لكثافة المادة الباريونية تتضمن إذن أن الكون في معظمه غير باريوني.

ويجدر عند هذه النقطة، أن نشير مرة أخرى إلى أن النموذج الانتفاخي لم يتم التحقق منه تجريبياً. ورغم أنه قد أصبح جزءاً من النظرية المعيارية لعلم الكون، إلا أنه ليس هناك بعد دليل من المشاهدات يدعمه، أو أنه دليل قليل. ويمكن إرجاع السبب في تقبل هذا النموذج تقبلاً واسعاً إلى معقوليته وإلى قدرته الظاهرة على تفسير أنواع كثيرة من الظواهر، على أن السبب لا يرجع إلى اتفاق هذا النموذج مع النتائج التجريبية.

إلا أنه ينبغي أن نلاحظ أنه لا توجد أي نظرية أخرى تدنو حتى من هذه النظرية في تفسير الكثير هكذا مما نشاهده من ملامح الكون. وإذن، فنحن تقريباً لا نكاد نخطئ عندما نطرح مؤقتاً الفرض بأنه كان هناك حقاً فترة من انتفاخ سريع بدأت حينما كان عمر الكون ما يقرب من ١٠-٣٥ ثانية. وليس هنك من طلع علينا بأي أفكار أفضل.

وكما رأينا من قبل، فإنه إذا كان هذا التمدد الانتفاخي قد حدث فعلاً، فإن من الصعب أن نتحاشى الاستنتاج بأن ٩٠ في المائة على الأقل من كتلة الكون تقع في شكل من المادة يختلف عن النوع الباريوني المادي. ولا أحد يعرف بعد ما قد تكونه هذه المادة، ولكن يمكننا أن نؤكد بقدر معقول من الثقة أن هذه المادة موجودة.

[7]
أبعد الأشياء في الكون

لو كان للأوتار الكونية وجود، فإنها ستنزع لأن تلتف ملتوية ولأن يتقاطع أحدها مع الآخر وهي تتحرك فيما حولها من الكون. وأخيراً فإنها ستتكسر إلى حلقات مقفولة سوف تسلك «كبذور» جذبوية يمكن أن تتشكل المجرات من حولها. وبعدها فإنها ستشع طاقتها بعيداً وتختفي. وعلى الأقل، فإن هذا هو أحد سيناريوهات تكوين المجرات، وإن لم يكن السيناريو الوحيد الذي تم طرحه. وحسب إحدى النظريات الأخرى، قد يكون للأوتار الكونية القدرة على إنتاج انفجارات هائلة، تنفث المادة بعيداً وهذه الانفجارات ينشأ عنها فقاعات غاز متمددة، وعندما تصطدم الفقاعات تتكون المجرات.

وقد نشأت هذه النظرية في ١٩٨٥ عندما طرح إدوارد ويتن، عالم الفيزياء النظرية بجامعة برنستون، أن الأوتار الكونية قد تسلك كالموصّلات الفائقة. وحسب نظرية ويتن، فإن خواص وسلوك الجسيمات تحت الذرية قد تتغير عندما تقع أسيرة داخل الأوتار. وعلى وجه التحديد، فإن بعض الجسيمات قد تكون تحت هذه الظروف بلا كتلة. وإذا كان الأمر هكذا، فإن تخليقها لن يحتاج إلى طاقة أو هو يحتاج إلى طاقة قليلة.

وإذا تم تخليق زوج من الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترون والبوزيترون، من داخل قطعة من أحد الأوتار، وإذا كان هذان الجسيمان بلا كتلة، فإن قدراً صغيراً جداً من الطاقة سيجعلهما إذن يتحركان بسرعة الضوء. وسيكون عليهما أن يتحركا بهذه السرعة لأنه حسب النسبية الخاصة يلزم أن تتحرك الجسيمات التي بلا كتلة على هذه السرعة.

وإذا تحرك إلكترون وبوزيترون حول حلقة لأحد الأوتار في اتجاهين متضادين،

فسوف يتخلق تيار كهربائي بقدر خالص يكون بالضبط ضعف التيار الذي يخلقه الإلكترون أو البوزيترون وحده، ذلك أن التيار الذي يتخلق من شحنة موجبة تتحرك في أحد الاتجاهات يكون مساوياً بالضبط للتيار الذي يتخلق من شحنة سالبة تتحرك في الاتجاه الآخر. وهذا مماثل لـلقاعدة الحسابية التي تقول إن طرح العدد السالب يعادل جمع العدد الموجب (وكمثل، فإن طرح -٥ يماثل أن نجمع +٥)، أو مماثل لقاعدة النحو الانجليزية التي تقرر أن نفي النفي إثبات.

وما أن ينشأ تيار كهذا، فإن الإبقاء عليه لن يحتاج لطاقة إضافية. وحسب نظرية ويتن فإن حلقة الوتر الكوني يمكن لها أن تسلك بطريقة مماثلة للمواد فائقة التوصيل التي يجري عليها العلماء تجاربهم في المعامل الأرضية.

وإذا نشأ تيار فائق التوصيل من خلال وتر كوني، سوف يتم تخليق مجالات كهربائية ومغناطيسية في الفضاء المحيط بالوتر. وهذه المجالات يمكنها بعدها أن تتحرك بعيداً عن الوتر كإشعاع كهرومغناطيسي.

وحسب النظرية التي أنشأها ويتن بالمشاركة مع زميله في برنستون جيرمياه، ب. أوستريكر، وتلميذ هذا الأخير كريستوفر تومسون، فإن هذا يمكن جداً أن يؤدي إلى تكوين المجرات. فالموجات الكهرومغناطيسية المنبثقة من الأوتار سوف تتفاعل مع غازي الهيدروجين والهليوم اللذين يملآن الكون لتنتج فقاعات متمددة من غاز ساخن. ويمكن للمجرات أن تتكون عندما تتشابك هذه الفقاقيع.

وينبغي التأكيد هنا على أنه لو كانت هذه الأفكار صحيحة، فلا بد أن هذه الأحداث قد وقعت على مقياس هائل حقاً، حيث أن هناك مجرات كتلتها أكبر من كتلة شمسنا ترليون مرة، وقد اكتشف الفلكيون فراغات في الفضاء يقاس عرضها بملايين السنوات الضوئية. وإذا كانت نظرية أوستريكر - ويتن - تومسون صحيحة فإن كل واحد من هذه الفراغات يمكن أن يكون قد تخلق من حلقة وتر كوني واحد فائق التوصيل.

ورغم أن النظرية قادرة فيما يبدو على تفسير وجود الفراغات هي والمجرات أيضاً، إلا أن هذا ليس مما يضمن صحتها. ومن الممكن بلا ريب أن تكون الفراغات قد تخلقت بطريقة أخرى، ولم يكن لها دائماً تلك المقاييس الهائلة التي لها الآن. فالفراغات تتمدد مع سائر الكون؛ وهي في وقت من الأوقات كانت أصغر بما له

اعتباره مما هي عليه الآن. بل إنها ربما قد بدأت كتراوحات عشوائية في كثافة المادة. وإذا كان من الممكن لتجمعات المجرات أن تتكون في المناطق التي تكون كثافة المادة فيها عالية بصورة غير عادية، فإن من الممكن أن يكون هناك فراغات في المناطق التي تكون الكثافة فيها منخفضة بصورة غير عادية.

وإذا كانت نظرية أوستريكر - ويتن - تومسون صحيحة، فلا بد أن توجد مجالات مغناطيسية في الكون أثناء الفترة السابقة لتكوين المجرات. فالتيارات فائقة التوصيل لم تكن لتنشأ في الأوتار الكونية إلا إذا كان هناك قوى مغناطيسية تعمل مفعولها على الجسيمات التي من داخلها. ولا تفسر النظرية كيف نشأت هذه المجالات؛ ويجب علينا أن نفترض ببساطة أنها موجودة هناك.

ولو كانت النظرية صحيحة، فلربما ظلت الأوتار الكونية فائقة التوصيل مرئية للآن، حتى ولو كانت قد تبخرت فيما يفترض منذ بلايين السنين. ذلك أنه عندما تصل التيارات إلى أقصى حد لها، سوف تبث الأوتار مقادير وافرة من الإشعاع ستظل مرئية للآن في شكل أشعة إكس. وهناك أشياء أخرى عديدة في الكون تبث أشعة إكس، وهكذا سيكون على العلماء أن يثبتوا أن أياً مما يرصد من مصادر أشعة إكس يبث النوع المناسب من الإشعاع بالمقادير المناسبة.

وثمة طريقة أخرى يمكن بها اختبار النظرية، وهي تتعلق بالمجالات المغناطيسية التي توجد من داخل المجرات. وهذه المجالات التي بداخل المجرات ليس لها علاقة بالمجالات المغناطيسية الأولية التي تتطلبها النظرية، ولكنها مما سيوجد سواء كانت هناك مغناطيسية في الكون المبكر أو لم تكن. والمجالات المغناطيسية تتولد من المجرات الدوارة من خلال ظاهرة من نوع «الدينامو المجرّي». وقوة مثل هذا المجال تقرب في صورتها النموذجية من جزء من المليون من كثافة مجال الأرض.

ولو كان هناك وجود الآن لأي أوتار فائقة التوصيل، لكان في إمكانها أن تتفاعل مع هذه المجالات المجرية. ولن تنتج انفجارات عن ذلك، فهذه المجالات جد ضعيفة. إلا أنه ستنبعث أشعة من الراديو، وهذه فيما يفترض يمكن الكشف عنها. ومرة أخرى فإن موجات الراديو لها مصادر عديدة في الكون. على أنه لو اكتشف الفلكيون مصدراً لموجات الراديو، ولم يستطيعوا تفسير كيفية تخليقها، فإن من الممكن على الأقل أن ينظر إلى وجود الأوتار فائقة التوصيل كواحد من

الاحتمالات الممكنة.

وموجات الراديو التي تأتي من مصدر من نوع معين يكون لها عموماً سمة خاصة بهذا المصدر، مثلها في ذلك مثل الضوء الذي يأتي من النجوم والمجرات. وكمثل، فإنه يمكن الكشف عن وجود غاز بارد حيث إنه يبث موجات راديو على أطوال موجات خاصة معينة. وبالتالي، فإنه إذا تم اكتشاف بعض مصدر جديد لموجات الراديو، فمن الممكن فيما ينبغي معرفة ما إذا كانت هذه الموجات ناتجة عن بعض نوع مألوف من الأجرام الفلكية أم لا. فإذا لم تكن كذلك، يكون لا بد من النظر في تفسيرات أخرى، مثل وجود وتر فائق التوصيل.

على أنه ينبغي أن نؤكد أنه ما لم يوجد بعض دليل على الأوتار الكونية - سواء الأوتار فائقة التوصيل أو تلك التي من النوع «العادي» - فإن النظريات التي تعتمد على وجود هذه الأوتار يجب أن تعد مجرد نظر بالتخمين. ورغم أنه قد يكون من الشيق أن ننظر في أمر النتائج التي تترتب على وجود الأوتار الكونية، إلا أنها حالياً ليست شيئاً سوى فكرة كالبدعة الشائعة (كالموضة). فلا يوجد قط أي دليل على وجود الأوتار في الواقع.

ومع كل، فلست أعني أنه ينبغي عدم متابعة التخمينات التي من هذا النوع. وقد تمت فيما مضى اكتشافات لها أهميتها العظمى أثناء «لهو» العلماء بأفكار نظرية جديدة. وبالإضافة، فإنه يمكن حتى للتخمينات الجامحة أن تلعب دوراً علمياً مفيداً، وذلك بأن توسع من آفاق العلم. ومن الناحية الأخرى، ينبغي ألا نرتكب خطأ الخلط بين التخمينات العلمية والحقائق التي تم إثباتها تماماً. ومن الممكن كل الإمكان أنه لن يتم أبداً اكتشاف دليل على وجود الأوتار الكونية، وأن هذه الأوتار سوف تُنسى خلال سنوات معدودة. فالعلم أيضاً له بدعه الشائعة. والكثير منها ينتهي إلى الطريق الذي انتهت له بدعة رقصة الهولا هوب.

كرات جدارية:

الأوتار الكونية - إن كان هناك حقاً شيء من هذا القبيل - يمكن التفكير فيها «كشقوق» في المكان والزمان. وهذه الشقوق قد ظهرت فيما يفترض عندما حدثت تغيرات فجائية في المجالات الكمية التي وجدت في الكون. وقد افترض العلماء

حتى زمن قريب أن هذه التغيرات التي تسمى بالتحولات الطورية، قد وقعت عندما كان عمر الكون لا يزيد عن كسر صغير جداً من الثانية. والحقيقة أن مفهوم الأوتار الكونية هو ذاته قد نشأ أصلاً في سياق نموذج الكون الانتفاخي، والانتفاخ يفترض أنه قد وصل إلى نهايته بعد الانفجار الكبير بما يقرب من ١٠-٣٠ من الثانية. ومع كل، فإن التحول الطوري حدث درامي، ومن الطبيعي أن نفكر فيه كشيء قد وقع وسط أحداث عنيفة أثناء فترة التمدد الانتفاخي. على أنه لا يوجد حقاً أي سبب قوى ينفي إمكان أن يحدث التحول التطوري في وقت لاحق. والمجالات الكمية، مثل مجال هيجز وتلك المجالات المصاحبة للجسيمات المختلفة، لا بد أنها قد وجدت قبل بدء التمدد الانتفاخي، وظلت موجودة فيما يفترض بعد انتهائه.

وقد طُرح في ١٩٨٨ رأي بأن ثمة تحولاً طورياً متأخراً قد وقع بالفعل بعد الانفجار الكبير بما يقرب من مليون سنة، وقد طرح ذلك عالم الفيزياء الفلكية بجامعة شيكاغو دافيد ن. شرام، هو وزملاؤه كريستوفر ت. هيل بمعمل معجل فيرمي القومي، وج. ن. فراي بجامعة فلوريدا.

وقد بدأ شرام وزملاؤه بأن لاحظوا أن نيوترينو الإلكترون يمكن ولا ريب أن تكون له كتلة من حوالي ٠ر٠١ إف. وهذا القدر الصغير هو مما لا يمكن قياسه. على أنه إذا كان للنيوترينو هذه الكتلة بالفعل، فإن هذا سيحل إحدى مشاكل الفيزياء البارزة.

ويتفق أن يحدث أن عدد جسيمات النيوترينو الآتية من الشمس إلى الأرض هو أصغر من العدد الذي ينبغي نظرياً أن يرصد. وهذا التناقض يمكن أن يزول لو كان للنيوترينو بعض كتلة. وكما ذكرت من قبل، فإنه إذا كان لجسيمات النيوترينو كتلة، فسيمكن لهذه الجسيمات أن تتذبذب من نوع إلى الآخر. وإذا حدث ذلك، فإن التجربة التي تكشف عن نيوترينو الإلكترون فقط ستعطي نتائج أقل من المتوقع. وكمثل، فإن جسيمات نيوترينو الإلكترون التي تتذبذب إلى نيوترينو الميون لن تتم رؤيتها بكل بساطة.

ولو كان لجسيمات النيوترينو كتلة، فسيكون من المعقول أن نفترض أنها تكتسب هذه الكتلة من خلال عملية تشبه ميكانيزم هيجز، ولكن ليس من سبب معين لأن يكون هذا الميكانيزم قد أعطى ولا بد لجسيمات النيوترينو كتلتها منذ

البداية الأولى. ولعل هذا لم يحدث إلا بعد أن أصبح عمر الكون مليون سنة أو ما يقرب. وحسب شرام وهيل وفراي، فإنه يمكن تصور أنه قد وقع في ذلك الوقت تحول طوري حدث فيه أن «تجمد» فجأة مجال مشابه لمجال هيجز، مما أعطى كتلة لهذه الجسيمات التي لم يكن لها قبل ذلك كتلة.

ولو حدث تحول طوري هكذا، سيكون من المعقول أن نعتقد أنه سوف يخلق «شقوقاً» في المكان ـ الزمان تشبه تلك التي ربما ظهرت أثناء فترة التمدد الانتفاخي. على أنه ما من سبب لأن تكون تصدعات المكان ـ الزمان التي تتخلق عند وقوع «تجمد» كهذا هي فيما يجب ذات بعد واحد، بمثل ما تكون عليه الأوتار الكونية. ومن الممكن أيضاً أن يكون لدينا أوجه خلل دقيقة كالنقطة (سوف تبدو وكأنها جسيمات ثقيلة)، أو جدران مناطق هي جدران ذات بعدين.

والحقيقة أن هذين النوعين من التصدعات كلاهما يمكن أن يتخلق أثناء فترة التمدد الانتفاخي. وهذه الجسيمات تسمى بالأقطاب المغناطيسية الأحادية لأنها ستسلك وكأنها أقطاب منفصلة شمالية أو جنوبية، وهي ستكون نادرة جداً. فالتمدد الانتفاخي السريع سيكسح معظمها للخارج من الجزء المرصود من الكون. وكما رأينا في الفصل الرابع، فإن جدران المناطق ستلقى نفس المصير. وهي فيما يفترض موجودة في مكان ما من الكون، ولكنها بعيدة جداً بحيث لا يمكننا رؤيتها.

والأوتار الكونية تُكتسح هي أيضاً للخارج من الكون المرصود. وهذا يخلق مشكلة لنظريات المادة المظلمة التي تعتمد على وجود هذه الأوتار. فينبغي ألا يوجد منها العدد الكافي لأن يفسر تكوين المجرات إلا إذا تم تخليقها بعد انتهاء التمدد الانتفاخي. وهذا يثير السؤال عن سبب أنها ينبغي أن تتكون في ذلك الوقت، في حين أن الأقطاب المغناطيسية وجدران المناطق قد تخلقت في وقت مبكر عن ذلك. ورغم أن المشكلة هي مما قد يثبت إمكان التغلب عليها، إلا أنها مما يجب أن يتم حله نهائياً إذا كان لنا أن ننظر نظرة جدية إلى نظرية الأوتار الكونية.

على أننا يمكننا تحاشي الصعوبات التي من هذا النوع لو افترضنا أنه حدث تحول طوري في وقت متأخر. وأي تصدعات في المكان ـ الزمان تتخلق بعد انتهاء الانتفاخ سوف تتحرك مع التمدد البطيء الذي يحدث الآن. فهي لن تكسح بعيداً

لتختفي عبر الآفاق الكونية.

وحسب شرام وهيل وفراي، من الممكن جداً للتحول الطوري المتأخر أن يؤدي إلى تخليق جدران للمناطق تتكسر بعدها وتصبح بذوراً لتكوين المجرات. على أن قطع الجدار هذه لن تتشابه إلا قليلاً مع الأوتار في النظريات التي نظرنا أمرها فيما سبق. وبينما ستكون الأوتار بنيات ميكروسكوبية أصغر كثيراً من قطر نواة الذرة فإن جدران المناطق في نظرية التحول الطوري المتأخر ستكون بنيات كبيرة حقاً. ومن الممكن أن يصل سمكها إلى سمك الملايين من السنين الضوئية، ويعتمد ذلك على حجم كتلة النيوترينو التي تخلقت بواسطة المجال المشابه هيجز. ومن الطبيعي أنها لن تكون لها كثافة الكتلة الهائلة التي تتصف بها الأوتار؛ وأغلب الاحتمال أن كثافتها ستكون من نفس درجة كثافة غاز الهيدروجين والهليوم في محيط الكون.

وتخليق جدران المناطق يمكن أن يؤدي إلى تكوين المجرات عن طريقين. والأول، هو أن يمارس الجدار على المادة المجاورة قوة تنافرية «ضد جاذبية». وبالتالي فإن المادة التي بين جدارين سوف تنضغط. وهكذا يمكن أن تتخلق المجرات بطريقة مشابهة لتلك التي يفترضها أتباع نظرية الوتر المتفجر. وفي كلا الحالين، سيحدث أن تتحد معاً فقاعتان من المادة المنضغطة، وسوف تتخلق سلاسل من المجرات حيث يحدث التشابك بين الفقاعات.

والطريقة الأخرى التي يمكن بها تكوين المجرات هي نتيجة لحقيقة أن جدران المناطق لن تكون أشياء صلبة جامدة. وإنما يمكن أن تحدث لها تعديلات في شكلها، ويمكن أن تتفسخ منها بعض القطع لتشكل كرات جدارية. وفقاقيع جدران المناطق هذه سوف تمارس قوة شد جذبوي على المادة المحيطة بها، ويمكن أن تبذر لتكوين المجرات تماماً مثلما يمكن ذلك لحلقات الوتر الكوني.

ونظرية التحول الطوري المتأخر هي نظرية فيها الكثير من التخمين. وحتى الآن لا يوجد أي دليل على أن جسيمات النيوترينو لها كتلة حقاً، ومن المؤكد أنه ليس هناك أي برهان يدل على أنه قد حدث حقاً أيُّ تحول طوري من النوع المطلوب للنظرية. على أن النظرية لها بالفعل مزايا معينة على النظريات المنافسة. فهي لو كانت صحيحة سيترتب عليها أن تتكون المجرات بسرعة كبيرة نسبياً. وسيمكننا تحاشي المشكلات التي نجابهها في بعض النظريات الأخرى، حيث سرعة تكوين

المجرات قد تكون بطيئة بطئاً لا يتفق مع المشاهدة.

ونظرية شرام - هيل - فراي تتفادى أيضاً المشكلات التي تتعلق بتجانس إشعاع الخلفية الكونية. فالتحولات المتأخرة ستحدث بعد أن يتم بث هذا الإشعاع، ولن تؤثر فيه إلا قليلاً عندما ينطلق من خلال الفضاء. وهكذا، فإنه لو كانت جدران المناطق أو الكرات الجدارية تسبب فعلاً أي عدم استواء في الإشعاع، فإن هذا التأثير سيكون صغيراً جداً بحيث أنه لن يمكن رصده الآن. والنظرية هكذا لها ميزة على النظريات الأخرى التي تعتمد على وجود تراوحات في الكثافة في زمن أكثر تبكيراً. وكما رأينا من قبل، فإن هذه التراوحات إذا كانت كبيرة جداً، تظل تأثيراتها مرئية لليوم، ووجود «تكتل» Lumpiness في الكون قبل بث إشعاع الخلفية سيسبب تكتلاً في الخلفية نفسها.

والفلكيون لم يرصدوا أي جدران مناطق ولا كرات جدارية في الكون، ولكن هذا لا يناقض حقاً نظرية التحول الطوري المتأخر. ويمكن لنا أن نفترض ببساطة أن الجدران وبقاياها قد ذابت تماماً أثناء بلايين السنين التي مرت منذ وقوع التحول الطوري المتأخر.

ولعلنا قد نتشكك بعض الشيء في نظرية تعتمد على وجود أشياء لم تعد بعد موجودة. على أنه قد تكون هناك وسائل يمكن بها اختبار النظرية بعد أن يتم تفسيرها بتفصيل أكثر. ومن الممكن أن نستخدم هذه النظرية للوصول إلى تنبؤات كمية بشأن ما في الكون من البنيات ذات الحجم الكبير. وكمثل، لو ثبت في النهاية أن النظرية تتنبأ بوجود فراغات هي تقريباً بحجم تلك التي تم رصدها بالفعل، فإننا يجب أن ننظر إليها نظرة جدية. وبالمثل، فإنه لو تم تحسن في تكنيكات الملاحظة إلى الحد الذي يجعل من الممكن قياس تراوحات في إشعاع الخلفية الكونية مقدارها أصغر كثيراً مما يمكن رصده اليوم، فإن هذا قد يمدنا بإثبات للنظرية. والنظرية تتنبأ بالفعل ببعض أوجه اللاتجانس الصغيرة في الخلفية، وتقول إنها يجب أن تكون من حجم معين خاص.

وعلى كل، فلعل ما ينبغي حالياً هو أن ننظر إلى نظرية التحول الطوري المتأخر على أنها فقط مجرد بديل لا أكثر للنظريات المعيارية لتكوين المجرات. وإذا كانت هذه النظرية تتفادى مشاكل معينة مما يجابه النظريات المعيارية، فإن هذا ليس فيه ما

يضمن صحتها، ولا يضمن حتى أنها معقولة بوجه خاص.

ولعل أفضل وسيلة لتلخيص الموقف الحالي هي أن نستشهد ببعض التعليقات على نظرية التحول الطوري المتأخر، وقد كتبها أحد علماء الفيزياء الفلكية في مجلة «أخبار العلم»، وهذا العالم هو ب. جيمس إ. بيبلز بجامعة برنستون. وقد كان الاستشهاد بما قاله بيبلز في نسخة مجلة «أخبار العلم» الصادرة في ٢٩ أبريل عام ١٩٨٩ حيث قال:

«لعلنا في حاجة إلى شيء جنوني. فالنماذج المعيارية لتكوين المجرات وتجمعات المجرات لا يوجد منها أي مما يتفق تماماً مع كل المعطيات. وربما يكون سبب ذلك هو أننا نغفل، في طريقة تناولنا لهذه المعطيات، نقطة ما أولية، أو ربما يكون السبب أننا نغفل شيئاً هاماً، من مثل التحول الطوري المتأخر. ومن المؤكد أنني لست بمن يصرف النظر عن (هذا الإمكان)، ذلك أننا قد أصبحنا يائسين إلى حد ما».

الجاذب العظيم:

منذ استخدام جاليليو التيلسكوب لأول مرة في رصد السماوات، ظل الفلكيون يحاولون دائماً أن ينظروا في الفضاء لأبعد ما يستطيعون. فهم ككل العلماء يتوقون إلى الجديد في المعرفة، وهذه كما يبدو طريقة واضحة للوصول إلى ذلك.

وحينما تقدم الفلكيون بتكتيكاتهم في الرصد إلى أقصى حدودها، أمكنهم الوصول إلى تفهم بنية الكون بالمقياس الكبير. وكلما نظر الفلكيون لأبعد وأبعد في الفضاء، فإنهم يكتشفون الجديد من الأجرام والظواهر، كما أنهم يجدون أنفسهم وهم ينظرون وراء في الزمان لما هو أبعد وأبعد. وكمثل، فإن الفلكيين يمكنهم اليوم أن ينظروا في الفضاء لما هو أبعد من عشرة بلايين سنة ضوئية، وهكذا فإنه يمكنهم رصد الكون عندما كان أصغر سناً عن الآن بعشرة بلايين سنة.

وأحد الأشياء التي جعلت هذا أمراً ممكناً هو إنشاء تكنولوجيا إلكترونية جديدة مكنت الفلكيين من القيام بأرصاد كانت مستحيلة في أيام هابل. والفلكيون لم يعودوا بعد مقيدين برصد الكون من خلال التيلسكوبات البصرية التي تجمع الضوء

المرئي. فهم اليوم يستفيدون من كل جزء من الطيف الكهرومغناطيسي، ويرصدون الكون أيضاً بحزم أشعة الراديو والأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية وأشعة إكس.

وعندما يستخدم الفلكيون التليسكوبات بالفعل للتصوير على رقائق فوتوغرافية، فإنهم لا يحتاجون بعد لفحص هذه الرقائق بصرياً، فهناك وسائل مسح بالليزر يمكنها أن تقرأ في لحظة المعلومات التي تحويها الرقائق. وغالباً، فإن الفلكيين لا يستخدمون على الإطلاق التكنيكات الفوتوغرافية، وإنما يستخدمون بدلاً منها الآلات الإلكترونية الحديثة. وتظهر لنا الأهمية الخاصة لهذه الوسائل المتقدمة عندما ننظر في إحدى الحقائق، وهي أنه في أيام هابل كان يلزم من أجل تحديد الإزاحات الحمراء للمجرات البعيدة استخدام وسائل بدائية مرهقة. وكثيراً ما كان يحدث في تلك الأيام أن يستمر التقاط الصورة المطلوبة للحصول على الإزاحة الحمراء لمجرة واحدة طيلة أيام عديدة. وكان مصراع الكاميرا الفلكية يغلق أثناء النهار، ليفتح ثانية في الليلة التالية. وطبيعي أنه كان ينبغي الحرص على أن يظل التليسكوب موجهاً بالضبط في نفس الوضع في كل ليلة متتالية، وإلا فقد يضيع عمل ليالٍ عديدة.

والفلكيون كلما حاولوا النظر في الفضاء لأبعد وأبعد، فإنهم ينزعون إلى الإقلال من الاهتمام بالمعطيات التي تم جمعها عن المجرات القريبة. وقد لاحظ بعض الفلكيين أن علاقة الارتباط بين مسافة هذه المجرات وإزاحاتها الحمراء ليست كما ينبغي أن تكون. على أن الأغلبية من زملائهم كانوا مشغولين بالمسائل الأخرى «الأعمق»، فلم يلقوا انتباهاً كثيراً لهذه الحقيقة. كما أنه يبدو أن الذين لاحظوا فعلاً هذه الحقيقة لم يروا فيها ما يزعج كثيراً. فوجود متناقضات كهذه هو فيما يزعم مجرد انعكاس للصعوبات التي يثيرها القياس الدقيق لمسافة بعد المجرات الأخرى.

ولم يتبين إلا القليل من الفلكيين أن هناك تفسيراً آخر محتملاً، وهو أن المجرات لا تنجرف ببساطة مع التمدد العام للكون، وأن لها حركات خصوصية خاصة بها. وكلمة «خصوصية» Peculiar تستخدم هنا بمعنى «خاص» أو «شخصي» وليس بمعنى «شاذ» أو «عجيب». والحركة الخصوصية لمجرة ما هي ما ينجم عن الشد الجذبوي لتركيزات من المادة تجاور المجرة. وكمثل، فقد رصدت حركات

خصوصية كهذه في المجموعة المحلية. فبعض المجرات التي من داخل هذا التجمع تقترب من درب التبانة بدلاً من أن تبتعد عنه. والسبب بالطبع، هو كون المجرات في الداخل من المجموعة المحلية مقيدة جاذبياً إحداها بالأخرى.

ورغم أن الفلكيين قد تبينوا في التو تقريباً أن الجاذبية هي التي تمسك بالمجموعة المحلية معاً، إلا أن من الواضح أنه لم يخطر أبداً لغالبيتهم أن الكون قد يحتوي على تركيزات من المادة يمكن أن تؤثر في حركات المجرات على نطاق أكبر. وعلى أي حال فقد أهملت هذه المسألة لأكثر من أربعين عاماً بعد أن أعلن هابل في ١٩٢٩ اكتشافه لتمدد الكون.

وأخيراً عندما بدأ النظر في مشكلة السرعات الخصوصية في أوائل السبعينات، استنتج الفلكيون عامة أن هذه السرعات فيما يحتمل صغيرة. وكان مما أثير الاحتجاج به أنه قد تكون هناك بعض تحركات عشوائية. على أنها لو كانت تحركات كبيرة جداً، لظهر على الكثير من المجرات القريبة إزاحات زرقاء بدلاً من الإزاحات الحمراء. وحيث إن من الواضح أن الحال ليست كذلك، فإنه يترتب على هذا أنه لا يمكن أن توجد أوجه عدم انتظام في تمدد الكون ذات دلالة.

على أن هذا الرأي المجمع عليه ثبت بطلانه قبل أن يجد الفرصة لأن يصلب عوده ليتحول إلى عقيدة علمية. ففي ١٩٧٥ كان الفلكيان فيرا س. روبين و و. كنت فورد جونيور يعملان في معهد كارنيجي بواشنطن، حيث أعلنا أنهما قد حددا سرعة مجرتنا بما يقرب من ٥٠ كيلومتر في الثانية، وذلك بالنسبة لإطار مرجعي من المجرات البعيدة. وهذه السرعة كانت أكبر كثيراً مما يعتقد الفلكيون بإمكانه، وهكذا لم يتم تقبل هذه النتيجة على نطاق واسع. وكان مما لُفت إليه النظر أن قياسات روبين وفورد قد اعتمدت على العثور على مجموعات من المجرات المرجعية على الجانبين المتقابلين من مجرة درب التبانة، وهذه المجموعات هي تقريباً على نفس المسافة من الأرض. ويقول النقاد إن من المؤكد أن مجرة درب التبانة «تبدو» وكأنها تتحرك متجهة لإحدى المجموعات، وبعيداً عن المجموعة الأخرى، ولكن هذا يمكن أن يكون توهماً ناجماً عن أخطاء في تقدير المسافات. وببساطة فإنه ليس من وسيلة لمعرفة إن كان الإطار المرجعي الذي اختاره روبين وفورد هو إطار مرجعي معقول.

ثم حدث في ١٩٧٧ أن تم اكتشاف أن مجرة درب التبانة تتحرك «فعلاً». وتم إثبات أنها تتحرك منسوبة إلى إطار مرجعي يعرف كل واحد أنه مرجعي معقول، وهو خلفية إشعاع الميكروويف الكونية. وأرسلت الآلات لترتفع عالياً فوق بالونات، فسجلت تباينات صغيرة في هذا الإشعاع. وتم اكتشاف أن موجات الميكروويف الكونية تحدث لها إزاحة حمراء هينة في أحد جانبي السماء وإزاحة زرقاء هينة في الجانب الآخر. وأصبح لا مفر من الوصول إلى استنتاج أن مجرة درب التبانة لها بالفعل سرعة خصوصية. والحقيقة أن هذه المعطيات بلغت من الجودة ما يكفي لأن يتمكن الفلكيون من استنباط أن المجموعة المحلية كلها تتحرك خلال الفضاء بسرعة تقرب من ٦٠٠ كيلو متر في الثانية.

وقد بينت هذه النتيجة على نحو فيه مفارقة أن نقاد عمل روبين وفورد كانوا مصيبين بطريقة ما. فقد دل قياس التباينات التي في خلفية الميكروويف على أن مجرة درب التبانة تتحرك في اتجاه هو تقريباً على العكس بالضبط مما وجده عالما الفلك بمعهد كارنيجي. وهكذا وجد روبين وفورد نفسيهما في موقف غير معتاد حيث ثبتت صحة أفكارهما في نفس الوقت الذي ثبت فيه خطأ نتائجهما، لأن النتائج المستقاة من قياس خلفية الميكروويف هي ما يجب أن تكون له الأسبقية. وحيث إن موجات الميكروويف قد تم بثها في الانفجار الكبير، فإنها تمد بإطار مرجعي للكون ككل.

وسرعان ما استنتج الفلكيون أن الحركة الخصوصية للمجموعة المحلية ناجمة ولا بد عن الشد الجذبوي لتركيز من كتلة تقع على بعد ملايين من السنين الضوئية، وأنه لا يمكن أن يكون هناك أي سبب آخر لذلك. ورغم أن المجرات يمكن لها فيما يفترض أن تُدفع إلى الحركة بقوى أخرى غير الجاذبية - فيمكن مثلاً كما يفترض أن يسبب وتر كوني متفجر حركة خصوصية - إلا أن هذه الأحداث قد وقعت ولا بد منذ بلايين السنين، وهكذا لن نتوقع أن الحركة الخصوصية الناجمة عن ذلك ستظل باقية للآن. والتفسير المنطقي الوحيد لحركة المجموعة المحلية هو أن ثمة جاذباً عظيماً يمارس شداً جذبوياً على المجرات التي تكون المجموعة.

ولم يكن الفلكيون متأكدين بالضبط من البعد الذي يجب أن يكون عليه هذا الجاذب العظيم الذي يفترض وجوده. وعلى كل، فإن الملاحظات الفلكية لم

تكشف عن أي تركيزات من الكتلة في منطقة السماء التي يفترض وقوعه فيها. ومن الناحية الأخرى، فإن من الأمور البسيطة أن نحسب مقدار ما يجب أن تكون عليه الكتلة عند أي مسافة معينة. فقانون نيوتن للجاذبية يتضمن أن مجموع الشد الجذبوي لعدة مئات إضافية من المجرات يمكن أن تنتج عنه الحركة المرصودة، إذا كان هذا التركيز من المجرات يبعد ثلاثين مليون سنة ضوئية. أما إذا كان تركيز الكتلة يقع على مسافة ٣٠٠ مليون سنة ضوئية، فإن الأمر يتطلب أن تكون الكتلة مساوية لعشرات الآلاف من المجرات.

حركات انسيابية:

قد يظن المرء أن العثور على الجاذب العظيم هو حقاً مهمة سهلة، وأن كل ما يجب على الفلكيين أن يفعلوه هو أن يحددوا الطريق الذي تتحرك فيه المجموعة المحلية، ويوجهوا تليسكوباتهم في هذا الاتجاه. ولسوء الحظ فإن الأمور ليست بهذه البساطة. وإذا كان في إمكاننا أن نفحص الصور الضوئية الفلكية وأن نتبين فيها تجمعات المجرات هي وتجمعاتها الفائقة، فإن من الأصعب بعض الشيء أن نخمن مقدار الكتلة التي تحويها هذه التجمعات. وبالإضافة، فإن حركة المجموعة المحلية وحدها لا تخبر الفلكيين عن الاتجاه المضبوط الذي يقع فيه الجاذب العظيم. والحقيقة أن العلماء لا يتوقعون أن يكون الاتجاهان متماثلين، حيث أن حركة المجموعة المحلية تتأثر أيضاً بالشد الجذبوي لتجمع من المجرات في كوكبة السنبلة.

وحتى يمكن تحديد موقع الجاذب العظيم، يجب أولاً أن نقيس حركات مجموعات المجرات الأخرى. وإذا تم ذلك، وإذا أمكن الكشف عن نوع ما من حركة جموعية، فسوف تكون لدينا فرصة لأن نحدد أين قد يكون الجاذب العظيم. وبكلمات أخرى، فإن حركة مجرة واحدة أو مجموعة من المجرات لا تعني إلا القليل، ولكن إذا تبين أن مئات من المجرات تتحرك متجهة إلى نفس النقطة، فإن هذه المعطيات يكون لها دلالة ذات أهمية كبيرة.

وهناك مجموعة من علماء فيزياء الفلك عرفوا سريعاً بأنهم مجموعة الساموراي السبعة*، وقد أكملوا في ١٩٨٧ دراسة دامت لخمس سنوات على ما يقرب من

* مجموعة الساموراي السبعة هم دافيد بيرشتين من ولاية أريزونا؛ وروجر دافيز من مرصد كيت =

أربعمائة مجرة درست فيها مسافة بعدها وحركاتها الخصوصية. والمجرات التي اختاروها لتتضمنها دراستهم المسحية هذه هي مجرات اهليلجية ساطعة تتوزع إلى حد ما باتساق في الاتجاهات المختلفة في السماء. وكانوا يأملون أنهم بتركيز اهتمامهم على هذا النوع الواحد من المجرات الساطعة على وجه خاص فإنهم سيتجنبون إدخال عوامل التحيز في معطياتهم.

وقد كشفت الدراسة عن أن حركة المجموعة المحلية ليست ظاهرة من الظواهر التي تحدث على نطاق صغير. وعلى العكس فقد أمكن رصد حركة ذات انتشار واسع. وحسب مقاتلي الساموراي السبعة، فإن هناك حجماً هائلاً من المنطقة المحلية من الكون، يتضمن على الأقل مجموعتين فائقتين من المجرات، يظهر حركة انسيابية بسرعة كبيرة في اتجاه الجاذب العظيم (الذي لم يتم الكشف عنه بعد). فالمجموعة المحلية، هي وتجمع المجرات في السنبلة وتجمعان فائقان في منطقتي الشجاع - قنطورس والطاووس - الهندي، هي كلها واقعة في قبضة جاذبية كتلة ما هائلة.

وبتحليل المعطيات تحليلاً أكثر، أصبحت خطوط الصورة واضحة. فكل المجرات التي في منطقتنا من الكون واقعة في أسر حركة انسيابية تتجه إلى جاذب له كتلة هي على الأقل أعظم من كتلة الشمس بقدر ٥×١٠^{١٦} مثل، وهي كتلة تساوي كتلة عشرات الألوف من المجرات، وتقع على مسافة تبعد عن درب التبانة بما هو على الأقل ٤٠٠ مليون سنة ضوئية. وسرعة هذه الحركة الانسيابية بجوار مجرتنا هي حوالي ٦٠٠ كيلو متر في الثانية. أما في الأماكن القريبة من الجاذب العظيم فإنها ترتفع إلى ١٠٠٠ كيلو متر في الثانية أو أكثر.

ومن المتفق عليه الآن بصفة عامة أن الجاذب العظيم له وجوده، ولكن الفلكيين مازالوا غير واثقين من موقعه بالضبط. فالبعض يعتقدون أنه تجمع فائق للمجرات من نوع عملاق هو - بضربة من سوء الحظ - يختفي عن الأنظار بواسطة الغبار الذي في قرص درب التبانة، على أن هناك تفسيرات أخرى محتملة لهذه المعطيات.

= بيك القومي؛ وآلان درسلر الذي عمل في مرصد مونت ويلسون ومرصد كامباناس؛ وساندرا فابر من سانتا كروز؛ ودونالد لندل - بل من معهد الفلك بكمبردج في المملكة المتحدة؛ وروبرتو تير لفيتش من المرصد الملكي بجرينتش؛ وجاري ويجنر من كلية دارتموث.

وكمثل، فإن بعض العلماء يعتقدون أن الحركات المرصودة يمكن أن تكون ناجمة، لا عن جاذب عظيم واحد، وإنما عن عدد من تجمعات لمجرات أصغر. وبالإضافة، فإن الفراغات التي توجد في الكون قد تلعب أيضاً دوراً ما، حيث إن الفراغ سيخلق غياباً للشد الجذبوي قد ينجم عنه أن تنساب المجرات في الاتجاه المضاد، أو هو على الأقل سيساهم في تحريكها.

وقد يكون الجاذب العظيم حلقة من وتر كوني. وهناك فيزيائيان في معمل لوس ألموس القومي، هما يهودا هوفمان وجكيتش زوريك، يطرحان أن ما رصد من ظواهر يمكن أن ينتج عن حلقة قطرها حوالي ٣٣٠٠٠٠ سنة ضوئية، كتلتها أكبر من كتلة الشمس بقدر $١٠^{١٣}$ مثل. على أن العلماء الآخرين ليسوا متأكدين من الأمر هكذا. وكمثل، فقد نُشرت ورقة بحث في مجلة «نيتشر» البريطانية في ١٩٨٧ كتبها عالمان للفيزياء الفلكية هما أدريان ميلوت بجامعة كانساس وروبرت شيرر بمركز هارفارد - سميثونيان للفيزياء الفلكية، وقد حاجا في بحثهما بأن الأوتار الكونية لا يمكنها أن تعطي حركات انسيابية على نطاق كبير ولا يمكنها أن تولد علاقات الارتباط المرصودة بين تجمع وآخر (أي الكمية التي تقيس تجمع المجرات المتجمعة).

والجاذب العظيم قد يكون تكتلاً من المادة المظلمة. على أن هذا فرض تصاحبه مشاكل معينة. وأكثر هذه المشاكل أهمية هو ما يبدو من أن وجود الحركة الانسيابية نفسها لا يتوافق مع نظريات المادة المظلمة الباردة. وتدل الحسابات على أنه لو كانت المادة المظلمة الباردة تكوّن حقاً الجزء الأكبر من كتلة الكون، وتمد بالبذور لتكوين المجرات فإن هذه المادة لا بد وأن تكون موزعة باتساق خلال الكون كله بحيث يصبح من المستحيل وجود حركات انسيابية بالحجم المرصود.

والظاهر بالفعل أن وجود الحركات الانسيابية يتوافق مع نظريات المادة المظلمة الساخنة. ولكن كما سبق أن رأينا، فإن لهذه النظريات مشاكلها الخاصة العويصة، حيث إنها تتضمن أن تركيزات المادة التي تصبح تجمعات من المجرات تتشكل قبل أن تأتي المجرات نفسها إلى الوجود، بينما يبدو أن الأمر عكس ذلك.

وأخيراً تظل هناك أسئلة بلا إجابة بالنسبة للحركة الانسيابية. وكمثل، فما من أحد لديه أي فكرة حقاً عما إذا كان الجاذب العظيم ثابتاً بالنسبة لخلفية

الميكروويف، أو أنه هو أيضاً يتحرك. وعلى ذلك، فإنه لايزال هناك بعض اختلاف فيما يتعلق بحجم ودلالة الحركة الانسيابية نفسها. وهذا ناتج عن حقيقة أننا إذا كنا نريد تحديد حجم الحركات الخصوصية للمجرات، فإننا يجب أن نعرف مسافة بعدها عن الأرض. وكما رأينا، فإن من المعروف مدى صعوبة إجراء هذا القياس*.

أبعد الأشياء في الكون:

الفلكيون الذين يدرسون المجرات البعيدة هي وغيرها من الأجرام الفلكية البعيدة نادراً ما يتحدثون عن مسافة بعد هذه الأجرام عن الأرض. وإذا فعلوا، فإنهم سيتورطون وحسب فيما يثير الخلاف. وهناك خلافات كثيرة جداً بشأن المسافات في الكون.

ولحسن الحظ فإن هناك طريقة أخرى يمكن بها توصيف مواقع الأجرام البعيدة: وذلك بلغة من إزاحتها الحمراء. فإذا كان لأحد الأجرام إزاحة حمراء قريبة من الصفر فإن هذا يعني أن الضوء الذي يبثه تتم إزاحته بقدر صغير جداً، وهكذا فإنه يجب أن يكون نسبياً قريباً من الأرض. وإذا كان لأحد الأجرام إزاحة حمراء قدرها ١، فإن هذا يعني أنه يتحرك بعيداً عن الأرض بسرعة جد كبيرة بحيث امتطّت أطوال الموجات التي يبثها بعامل من ١٠٠ في المائة. وبكلمات أخرى فقد زاد طولها بالضعف. وفيما يعرض، فإن الإزاحة الحمراء التي قدرها ١ تقابل مسافة طويلة تماماً. ويدل الحساب البسيط على أن الضوء الذي يمتط بهذا القدر قد تم بثه ولا بد عندما كان عمر الكون حوالي نصف عمره الآن. وإذا افترضنا أن عمر الكون ١٥ بليون سنة، فإن المجرة التي لها إزاحة حمراء قدرها ١ تكون على بعد حوالي ٧ بلايين سنة ضوئية.

وكلما نظرنا لأبعد وأبعد في الفضاء (وبالتالي لأبعد وأبعد وراء الزمان)، تزيد

* أثناء كتابة هذا الكتاب، أعلن أعضاء عديدون من مجموعة الساموراي السبعة أنهم قد حددوا موقع الجاذب العظيم بدقة أكثر. وقد وجدوا أن مركزه يقع على بعد حوالي ١٥٠ مليون سنة ضوئية من درب التبانة، وانه يمتد عبر السماء بما يقرب من ٣٠٠ مليون سنة ضوئية.

الإزاحات الحمراء بسرعة. ولو أمكننا أن ننظر لكل الطريق وراء حتى بداية الانفجار الكبير، سنرى أن الإزاحات الحمراء تصبح لامتناهية.

على أن أكبر ما رصد من الإزاحات الحمراء مازال أبعد من أن يكون لامتناهياً. وحتى زمن قريب، كان أقصى جرم معروف هو كوازار إزاحته الحمراء قدرها ٣ر٧٨، وقد تم اكتشافه في ١٩٨٢. ولهذا الكوازار سرعة ارتداد أكبر من ٩٠ في المائة من سرعة الضوء. وهو جد بعيد حتى أن ضوءه الذي يقع على الأرض لا بد أنه قد تم بثه عندما كان عمر الكون حوالي ٣ بلايين سنة فحسب.

والكوازارات أجرام ساطعة يعتقد أنها القلوب المنيرة لمجرات صغيرة السن. وحيث إنها يصدر عنها كميات هائلة من الضوء، فإنها يمكن رؤيتها على مسافات لا يمكن رؤية الأجرام الأخرى عندها (كالمجرات العادية مثلاً). وعموماً فإن الكوازارات موجودة عند إزاحات حمراء تتراوح بين ما يقرب من الواحد حتى ما يقرب من ٣. ويبدأ عدد الكوازارات في أن يقل عند إزاحة حمراء تقدر بحوالي ٢ر٥، حتى يقترب عددها من الصفر عند إزاحة حمراء مقدارها حوالي ٣ر٥.

وحيث إن التليسكوبات الحديثة لها القدرة على رؤية الكوازارات حتى إزاحة حمراء من حوالي خمسة، فقد ظل الفلكيون يعتقدون لزمن طويل أنه لن تكون هناك كوازارات عند «حد» الإزاحة الحمراء التي تبلغ ٣ر٥، أو أنها ستوجد بعدد قليل فحسب. وبالطبع فإن اكتشاف كوازار إزاحته الحمراء هي ٣ر٧٨ ليس بالفارق الكبير. وفجأة حدث بين أغسطس ١٩٨٦ وسبتمبر ١٩٨٧ أن اكتشف الفلكيون سبعة كوازارات جديدة إزاحتها الحمراء أكبر من ٤. وأحدها كانت إزاحته الحمراء ٤ر٤٣، وقد عثر عليه في سبتمبر ١٩٨٧ ستيفن وارن وبول هيويت ومايكل ارووين بجامعة كمبردج. وبعد مرور أسابيع معدودة فحسب اكتشف طالبان بجامعة كاليفورنيا ببيركلي كوازاراً إزاحته الحمراء ٤ر٤، والطالبان هما مارك ديكنسون وباتريك ماكارثي.

وعندما أنجز فلكيو كمبردج وبيركلي اكتشافاتهم هذه، فإنهم كانوا ينظرون وراء إلى زمن مبكر حقاً. فالإزاحة التي من ٤ر٤ (أو ٤ر٤٣) تقابل زمناً هو بعد الانفجار الكبير بأقل من مليوني سنة. ولم يكن هؤلاء الفلكيون هم وحدهم الذين اكتشفوا أجراماً تقع عند حافة الكون المرصود. فهناك فلكيون آخرون اكتشفوا

الدليل على وجود مجرات طبيعية على بعد يكاد يكون مماثلاً لذلك.

ففي ١٩٨٣ أخذ عالمان في دراسة الأجرام الموجودة عند أقصى طرف من الكون المرصود، وهذان العالمان هما ج. أنتوني تايسون بمعامل أ ت ر ت بل في موراي هل بنيوجرس وباتريك سويتزر الذي يعمل الآن في المعهد العلمي لتليسكوب الفضاء. وقد استخدما صوراً فوتوغرافية طويلة تستلزم معالجة ممتدة، بحيث دفعا بتكنيكات الرصد إلى آفاق جديدة. وقد استخدما في أرصادهما تليسكوباً ذا أربعة أمتار بمرصد الأمريكتين في سيرو تولولو بشيلي، واختارا مقاطع من السماء هي نسبياً خالية من النجوم والمجرات الساطعة حتى يضمنا الحصول على منظر للكون العميق بلا تكدس فيه.

وقد استكمل تايسون وسويتزر بحثهما المسحي في ١٩٨٨، ووجدا ما يقرب من ٢٥ ألفاً من الأجرام الساطعة وقد بدت زرقاء بينما لها إزاحات حمراء عالية جداً*. وتراوحت الإزاحات الحمراء لأسطع هذه الأجرام بين ما يقرب من ٧ر. حتى ٣، وهذا يعني أن معظمها يقع على مسافات لم يكن يرصد عندها عادة سوى الكوازارات.

وحيث إن «الضبابيات الزرقاوات» قد وجدت عند إزاحات حمراء عالية هكذا، فقد استنتج تايسون وسويتزر أنها لا بد مجرات حديثة الولادة. وطبيعي أنهما لم يستطيعا أن يتأكدا كل التأكد من هذا الأمر. فهذه الأجرام الضبابة بعيدة جداً بحيث يستحيل تمييز أي تفاصيل في بنيتها. وعلى كل، فقد بدا أن الاستنتاج الوحيد المعقول هو أنها مجرات حديثة الولادة.

وحسب تايسون، فإن هذا الاكتشاف يمد بمعلومات جديدة عن تفاصيل تكوين المجرات وتطورها. وحيث إن عدد الأجرام الزرقاء يقل سريعاً عند الإزاحات الحمراء التي تزيد عن ٣، فإنه يمكننا فيما يبدو أن نستنتج أن تكوين المجرة يبدأ في غالب الاحتمال عند إزاحة حمراء من ٤، وأن تكوين النجوم يستمر حتى الهبوط إلى إزاحة حمراء من حوالي ١.

---

* ينبغي أن نتذكر أن الإزاحة الحمراء للضوء لا تجعل الجرم يبدو أحمر. وهذه الأجرام زرقاء لأن الأشعة فوق البنفسجية قد أزيحت إزاحة حمراء إلى الطرف الأزرق من الطيف المرئي.

وهذه الاكتشافات ـ من أن الكوازارات توجد على إزاحة حمراء هي ٤ر٤ أو أكبر، وأن المجرات الأقدم تبدأ في تكوين أقراص من النجوم عند إزاحة حمراء تقرب من ٤ ـ هي مما يطرح المشاكل لنظرية تكوين المجرات من المادة المظلمة الباردة. ففي نموذج المادة المظلمة الباردة يحتاج الأمر لمرور قدر معين من الوقت قبل إمكان البدء في تكوين النجوم بالمجرات. وحسب النظرية، فإن أول تركيزات من المادة تنضم معاً تكون في حجم مجرات قزمة. والمجرات الأكبر لا تبدأ في التكون إلا في زمن لاحق. ولا يمكن أن يبدأ تكوين النجوم إلا بعد مرور بعض الوقت حيث تكون الجاذبية قد جمعت غازي الهيدروجين والهليوم الأوليين في أجرام المجرة. وحساب الوقت اللازم لحدوث هذا كله يؤدي إلى نتائج لا تتوافق إلا بالكاد مع المشاهدات.

وبكلمات أخرى، فإن وجود مجرات وكوازارات عند هذه الإزاحات الحمراء يخلق صعوبات للنظرية، ولكنه لا ينقضها تماماً. وعلى كل، فإنه لو تم اكتشاف أجرام أكثر بعداً، ككوازارات تكون مثلاً عند إزاحات حمراء أكبر من ٥، فإنه يجب عندها نبذ نظرية تكوين المجرات من المادة المظلمة الباردة. ورغم أن هذه النظرية هي من وجوه كثيرة أنجح نظرية طرحت للآن، إلا أنه سيكون على علماء الفلك والكونيات أن يبحثوا عن نظرية بديلة فيها مايتنبأ بأن المجرات تتكون بسرعة أكبر.

نتائج متضاربة:

أشرت في هذا الفصل والفصل السابق، إشارات عديدة لوجود المادة المظلمة في الكون. وكما شرحت، فإن هذه المادة إذا كانت موجودة فعلاً، يجب أن يكون معظمها غير باريوني. أي أنها يجب أن تتكون إما من جسيمات نيوترينو لها كتلة صغيرة ولكنها محددة، أو أنها تتكون من أجرام لم يتم اكتشافها بعد (مثل الأوتار الكونية) أو من جسيمات لم تكتشف بعد (مثل الويمبات).

ومع كل، فينبغي ألاّ ننسى أن هناك في الحقيقة سبباً واحداً فقط للاعتقاد بوجود هذه المادة المظلمة غير الباريونية. وهذا السبب هو تنبؤ نظريات الكون الانتفاخي بأن كثافة مادة الكون يجب أن تساوي الكثافة الحرجة. وإذا لم يكن هناك تمدد انتفاخي فلن يكون من الضروري أن نستجلب للوجود المادة المظلمة

الساخنة أو الباردة، ولا الأوتار الكونية أو الكرات الجدارية. وإذا كان نموذج الكون الانتفاخي غير صحيح، سيكون من الممكن بلا جدال أن تبلغ كثافة المادة مثلاً عُشر القيمة الحرجة. وفي هذه الحالة فإنه يمكن بلا ريب أن يثبت في النهاية أن المادة المظلمة التي في هالات المجرات هي مادة باريونية. ويمكن مثلاً أن تكون الكتلة غير المرئية مكونة من نجوم معتمة أو أجرام من حجم المشتري.

وعليه، فإن من المهم أن ننظر في مسألة ما إذا كان هناك حقاً أي دليل من المشاهدات يجبرنا على أن نستنتج أن التمدد الانتفاخي قد حدث حقاً. وكما رأينا، فإن النظرية الانتفاخية جد معقولة، وتفسر الشيء الكثير. على أن هذا بذاته ليس كافياً بما ينبغي.

وحالياً، نجد أن الأدلة المتاحة تبدو متضاربة بعض الشيء. وكمثل، فإن من الممكن تقدير الكتلة الموجودة في المجرات برصد حركاتها. وتبين الحسابات أن الكتلة الموجودة في تجمعات المجرات هي ما بين ١٠ إلى ٣٠ في المائة من القدر المطلوب لغلق الكون.

ومن الممكن أن تكون هناك مادة مظلمة في المسافات التي بين التجمعات، يكفي مقدارها لأن يصل بكثافة الكتلة الكلية إلى القيمة الحرجة. وفي هذه الحالة، فإن المادة المظلمة لن تتجمع إذن بنفس الطريقة التي تتجمع بها المجرات، ذلك أنها لو فعلت لأثر وجودها في حركات المجرات.

وبكلمات أخرى، إذا كان هناك وجود لمادة مظلمة غير باريونية، فإنها يجب أن تكون على نحو أو آخر موزعة توزيعاً متساوياً خلال الكون كله. وفي هذه الحالة يمكن أن تشبه المادة السوداء نفسها بالمحيطات، بينما تشبه تركيزات الكتلة في المجرات بجزر تبرز هوناً فوق سطح البحر.

وتبين الحسابات أنه إذا كانت المادة المظلمة غير الباريونية موزعة بهذه الطريقة، فإنها ينبغي أن تكون مادة مظلمة باردة. ومن الناحية الأخرى فإن جسيمات النيوترينو ستتجمع بطريقة أخرى. وعلى كل، فإن نظريات المادة المظلمة الباردة هي كما رأينا، قد بدأت تعاني من الصعوبات. وحتى الآن لا يستطيع أحد القول بأنها غير صحيحة، ولكنها إذا كانت صحيحة فسيكون هناك مشاكل خطيرة يجب حلها.

وهناك صنوف أخرى من أدلة تؤدي إلى نتائج غير حاسمة. ولو استطاع علماء الفلك أن يحددوا عمر الكون بدقة، لأمكنهم الحصول على برهان يدل على ما إذا كانت كثافة المادة قريبة من القيمة الحرجة أم لا، ذلك أن كمية المادة الموجودة في الكون لها علاقة بعمره. وكلما زاد ما يوجد من المادة، كان إبطاء التمدد أسرع. والكون ذو الكثافة الحرجة هو كون كان يتمدد في الماضي بأسرع من الكون الذي يحوي مادة أقل. وهذا يدل على أن الكون ذا الكثافة الحرجة هو الأصغر سناً، والتمدد المبكر بسرعة أكبر يعني أن الوصول إلى الوضع الحالي يستغرق زمناً أقل.

وتبين الحسابات أن الكون ذا الكثافة الحرجة يكون عمره حوالي ثلثي عمر الكون الذي يحوي كثافة للمادة قدرها أقل كثيراً (من مثل ١٠ إلى ٣٠ في المائة كما ذكرنا أعلاه). وهكذا فلو عرف الفلكيون بالضبط سرعة تمدد الكون الآن تواً، فسوف يتمكنون من حساب ما يمكن أن يكونه عمر كون ذي كثافة حرجة. وسيمكن مقارنة هذه القيمة النظرية بشتى أنواع المشاهدات.

ولسوء الحظ، فإن العلماء لا يعرفون بالضبط بأي سرعة يجري التمدد. ذلك أن عدم التيقن من المسافات التي بين المجرات يجعل رقم السرعة هذا غير مؤكد بعامل يزيد عن الضعف. وكنتيجة لذلك فكل ما يمكننا قوله هو إن الكون ذا الكثافة الحرجة يجب أن يكون عمره عند فترة ما تكون بين ٧ بلايين و١٦ بليون سنة، بينما الكون الذي تقل كثافته عن ذلك كثيراً (أي الكون الذي يحوي فحسب مادة باريونية) يمكن أن يكون عمره بين ١٠ إلى ٢٥ بليون سنة.

وقد حدد الفلكيون أن أكبر عمر لما أمكن رصده من النجوم هو حوالي ١٥ بليون سنة، وهذا الرقم لا يتوافق إلا بالكاد مع عمر ١٦ بليون سنة المنسوب للكون ذي الكثافة الحرجة، وذلك إذا افترضنا أن تكوين النجوم قد بدأ وعمر الكون بليون سنة (وهذا زمن قصير بالمقاييس الكونية). ولو أمكن لنا أن نقيس سرعة التمدد بدقة أكبر وأن نخفض حد الـ ١٦ بليون سنة الأقصى، فعندها سيكون هناك تضارب. وسوف نعرف إمّا أن هناك خطأً ما في تقدير عمر النجوم، أو إن هناك ما ينقض إحدى النبوءات الهامة لنظريات الكون التمددي.

وفي ١٩٨٨، طرح برنت تولي، أحد علماء الفلك بجامعة هاواي، نتائج يبدو أنها تدل على أن هناك تضارباً من هذا النوع. وقد تأسس بحث تولي على نماذج

الكمبيوتر وعلى السرعات المعروفة لارتداد المجرات البعيدة، ويبدو أن بحثه يدل على أن تمدد الكون هو أسرع مما كان يعتقده معظم الفلكيين. وحسب تولي، فإن الشد الجذبوي لمجموعات المجرات القريبة من درب التبانة قد أدخل أخطاء على الكثير من التقديرات السابقة.

ولو كانت نتائج تولي صحيحة، فإن عمر الكون ذي الكثافة الحرجة لا يمكن أن يكون إلا بين ٧ إلى ١٠ بلايين سنة. ومن الناحية الأخرى، فإن كوناً له كثافة مادة تقل كثيراً عن ذلك، يمكن أن يكون عمره أكبر من ذلك بخمسين في المائة. وهكذا إذا افترضنا أنه لا وجود للمادة غير الباريونية، فإن التضارب الذي تشير إليه نتائج تولي يكون أصغر كثيراً.

قياس انحناء المكان:

ينبغي ألا نتعجل فنستنتج أنه لم يكن هناك تمدد انتفاخي. ومن الناحية الأخرى، فقد حصل فريق من علماء الفلك بجامعة برنستون على نتائج يبدو أنها تدل على أن ما تتنبأ به نظريات الكون الانتفاخي من أن كثافة المادة القريبة من القيمة الحرجة، هو تنبؤ صحيح حقاً.

وقد تكون هذا الفريق من عالمي الفلك إدوين لوه وإيرل سبيلر، ولم يأخذ هذان العالمان في قياس كثافة المادة على نحو مباشر. ومن الواضح أن هذا مستحيل، حيث أن العلماء ليسوا واثقين مما تصنع منه المادة غير الباريونية (إن كان لها وجود)، ولا هم واثقون من كيفية توزعها. فمحاولة قياسها قياساً مباشراً هي مهمة ميؤوس منها. وعلى كل، لو كانت المادة غير الباريونية موجودة، فينبغي أن يكون لذلك نتائج يمكن رصدها، وينبغي أن نتمكن من الكشف عنها بطريقة غير مباشرة.

وحسب النسبية العامة لآينشتين، فإن كثافة مادة الكون على علاقة بمتوسط انحناء المكان، وهذا بدوره على علاقة بأعداد المجرات التي نراها على مسافات معينة. وسيبين لنا تمثيل بسيط لماذا ينبغي أن يكون الحال هكذا. تصور أنك تقف عند القطب الشمالي للأرض وتنظر للخارج على طول مستوى دائرة خيالي يمتد ١٢٥٠٠ ميل في كل اتجاه. ستكون مساحة هذه الدائرة حوالي ٤٩٠ ميلاً مربعاً.

قارن ذلك بسطح الأرض، وهو فحسب حوالي ٢٠٠ مليون ميل مربع، حتى إذا كان القطب الجنوبي يبعد بنفس المسافة مثل بعد حرف الدائرة ـ أي ١٢٥٠٠ ميل. وبكلمات أخرى، فإنه لو حدث انحناء لسطح الدائرة ذي البعدين بحيث يلائم سطح الأرض المنحني، فإن مساحته ستقل كثيراً.

والانحناء يؤثر في فضاء الكون ذي الأبعاد الثلاثة بطريقة مماثلة. وكلما زاد الانحناء قل عدد المجرات التي يمكن وضعها من داخله. ونحن هنا نفترض أن المجرات موضوعة على مسافات متساوية. وبالطبع فإن المجرات ليست على مسافات متساوية. فهي تتجمع في مجموعات، والمسافة بين هذه المجموعات هي أيضاً ليست ثابتة. على أن هذا لا يطرح في الحقيقة أي مشكلة، حيث يمكن أن نحسب متوسط المسافات. وإذا كان حجم الفضاء الذي ندرسه كبيراً بما يكفي، فإن عملية حساب المتوسط سوف تزيل أخطاء قد تنجم عن عدم الانتظام.

وقد قام لوه وسبيلر في دراستهما التي انتهت في ١٩٨٦ بعدّ المجرات التي يمكن رصدها في أحجام مختارة من الفضاء. ثم إنهما قسما هذه الأعداد على حجم الفضاء في كل منطقة ليحصلوا على المتوسطات التي تتيح لهما أن يحسبا متوسط المنحنى المكاني وفي النهاية، فإنهما استخدما هذا الرقم للحصول على متوسط كثافة المادة.

وعندما انتهت هذه الحسابات، وجدا أن كثافة مادة الكون تقع عند رقم ما بين ٦٠ و١٢٠ في المائة من القيمة الحرجة. وهناك أوج عدم يقين من أنواع شتى في المشاهدات مما يجعل من المستحيل أن يكون الرقم أكثر دقة من ذلك، ورغم هذا إلا أنه يبدو أن هذه النتيجة تؤكد ما تتنبأ به نظريات الكون الانتفاخي من أن كثافة المادة تقع عند القيمة الحرجة. وكما رأينا، فإن الكون الذي لا يحوي إلا المادة الباريونية، والذي يفترض أنه لم يحدث فيه تمدد انتفاخي، ستكون كثافته بين رقمي ١ر٠ و٣ر٠ وهما رقمان يقعان خارج المدى الذي حصل عليه لوه.

هل كان هناك تمدد انتفاخي ؟

يميل معظم علماء الفلك والفيزياء إلى الاعتقاد بأنه كان هناك تمدد انتفاخي. فهذه النظرية تفسر الكثير جداً بحيث انهم يكرهون التخلي عنها. ولو ثبت في

النهاية أنها نظرية زائفة، سيكون من اللازم العثور على وسائل جديدة لحل المشاكل المصاحبة لنظرية الانفجار الكبير الأصلية. ولن يكون هذا سهلاً.

وبالإضافة، فإن البحث الجديد قد جعل من أصعب الأمور الاعتقاد بأن التمدد الانتفاخي لم يحدث. ويبدو الآن أننا لا نحتاج لافتراض وفروض خاصة عن الكون المبكر حتى نصل إلى أن نستنتج أنه كان هناك تمدد هكذا. ومن الظاهر أن ثمة مجالات عديدة مختلفة يمكن أن تؤدي إلى التمدد الانتفاخي. وقد افترضت نظرية جوث الأصلية أن التمدد يُدفع بواسطة تحولات طورية في المجالات المصاحبة لجسيم هيجز، على أن من الظاهر الآن أنه لو ثبت في النهاية أن جسيم هيجز لا وجود له، فإن هذا لن يصيب النموذج الانتفاخي في مقتل.

وفي النهاية، فإن النظرية يجب أن تخضع نفسها لفحص التجربة والمشاهدة، وهنا نجد أن الموقف يصبح أكثر غموضاً إلى حد ما. وكمثل، إذا أخذنا نتائج تولي في الاعتبار مصحوبة بما تم تحديده من أعمار نجوم معينة، سوف يبدو أنها تدل على أنه لم يكن هناك تمدد انتفاخي، أو على الأقل فثمة خطأ ما في التنبؤ بأن الكون ينبغي أن تكون له الكثافة الحرجة.

ولعله يجب علينا أن نعتبر أن نتائج لوه وسبيلر هي أكثر إقناعاً بعض الشيء، حيث أن بحثهما كان فيه محاولة لقياس كثافة المادة مباشرة. على أن هناك أسباباً تجعلنا حذرين من نتائجهما أيضاً. فهناك العديد من العوامل المختلفة التي يمكن لأي منها أن يدخل الخطأ على نتائجهما. وكمثل، فإن تطور المجرات قد يكون له تأثيره في ذلك. والفلكيون عندما ينظرون إلى الفضاء في الخارج، فإنهم أيضاً ينظرون وراء في الزمان، ولكن ما من أحد على ثقة حقاً من أن المجرات كانت أسطع مما هي عليه الآن أو من أنها كانت أعتم، أو أنها كان لها تقريباً نفس الضياء. وربما تصبح المجرات أعتم عندما يزيد عمر النجوم وتموت، أو ربما تصبح أسطع عندما يسبب الشد الجذبوي أن تلتهم المجرات الأكبر المجرات الأصغر. وإذا كان لأي من هاتين الظاهرتين تأثير مهم، فإن الرقم النهائي لكثافة الكون يمكن أن يناله الخطأ.

هل حدث تمدد انتفاخي؟ علينا في هذه اللحظة أن ننحو إلى الاستنتاج القائل بأنه قد حدث. على أنه من الضروري أن نلتزم بقدر معين من الحذر. فمازالت هناك مشاكل لم تحل فيما يتعلق بالمادة المظلمة وعمر الكون. والأدلة التي تدعم نموذج

الكون الانتفاخي لا تكاد تعد أدلة جد مقنعة. وأسباب الإيمان بأن تمدداً من هذا النوع قد حدث هي إلى حد كبير أسباب نظرية.

آخر الأنباء:

أثناء تحرير هذا الكتاب، سجلت سلسلة من الاكتشافات الجديدة المذهلة. على أنه يبدو أن هذه الاكتشافات لم تؤد إلى إزالة أي من المشاكل البارزة في علم الكونيات. بل إذا كان قد حدث شيء، فهو أن الموقف قد أصبح أشد تشوشاً عما كانه من قبل.

والمشكلة أنه ما من أحد يفهم حقاً كيف يمكن أن تتسق هذه الاكتشافات الجديدة. فمن ناحية، وجد أن الانفجار الكبير كان انفجاراً ناعماً جداً جداً. وقياسات الأقمار الصناعية لإشعاع الخلفية الكونية التي تم إجراؤها في أواخر ١٩٨٩ لم تكشف عن أي أثر لتكتل في الكون المبكر يمكن أن يتطور فيما بعد إلى مجرات وتجمعات مجرات. وهناك اكتشافات أخرى أعلنت في أواخر عام ١٩٨٩ وأوائل عام ١٩٩٠ تدل على أن الكون الحالي هو حقاً كثير التكتلات بحيث إنه يحوي بنيات هائلة لم يسبق أن خطر لأحد وجودها.

وفي نوفمبر ١٩٨٩ أطلقت ناسا القمر الصناعي كوب COBE* لاستكشاف الخلفية الكونية. وقياسات إشعاع الخلفية الكونية التي أجراها هذا القمر الصناعي قد أتاحت للعلماء أن ينظروا وراء حتى زمن يصل إلى خلال سنة من الانفجار الكبير، وأمكن للعلماء هكذا أن ينظروا وراء في الزمان بأكثر مما أتيح قط من قبل. وكشفت لهم القياسات التي حصلوا عليها عن استواء كامل لا غير. وليس هناك أي نقط ساطعة في الإشعاع ولا أي تباينات من أي نوع. ويدل هذا فيما يبدو على أن كثافة المادة في الكون المبكر كانت أيضاً كاملة الاستواء. وعلى كل، فإن وجود أي تكتل في توزيع المادة كان سينتج عنه تكتل مقابل فيما يبث من الإشعاع.

---

* COBE اختصار من الحروف الأولى للكلمات Cosmic Background Explorer أي مكتشف الخلفية الكونية.

على أنه حدث في اليوم السابق لإطلاق سفينة الفضاء (كوب) أن أعلن عالمان عن اكتشافهما «لحائط عظيم»، هو تركز هائل من المجرات يقع على مسافة ٢٠٠ إلى ٣٠٠ مليون سنة ضوئية من الأرض، وهذان العالمان هما مرجريت ج. جيلر وجون ب. هوتشرا بمركز هارفارد - سميشونيان للفيزياء الفلكية في كمبردج ماساتشوستس. وطول هذا الجدار العظيم الذي عثرا عليه هو تقريباً ٥٠٠ مليون سنة ضوئية، وعرضه ٢٠٠ مليون سنة ضوئية وسمكه ١٥ مليون سنة ضوئية.

على أن هذه مجرد بداية. ففي حوالي نفس الوقت الذي نشرت فيه جيلر وهوتشرا نتاجهما، كان هناك فريقان من الفلكيين في الولايات المتحدة وبريطانيا العظمى يتشاركان في المعطيات التي ظلا يجمعانها طيلة السنوات السبع الماضية. وتمت مقارنة اكتشافات الفريقين، وسجل الفلكيون في أوائل ١٩٩٠ أن الحائط العظيم ليس إلا واحداً من عدد كبير جداً من الكتل الضخمة في الكون. ولا يقتصر الأمر على أن هناك تركيزات كثيرة من المجرات تماثل ذلك الحائط، وإنما يبدو أيضاً أن هذه التكتلات تكاد تكون موزعة في تساو.

واعتماداً على ما تم افتراضه عن سرعة تمدد الكون (وإن كان هذا كما رأينا مازال موضع اختلاف له اعتباره) فقد قدر أن هذه التكتلات بعيدة بعضها عن البعض بمقدار ٤٠٠ إلى ٨٠٠ مليون سنة. وتوزيعها يبلغ من انتظامه أنه يعطي للكون مظهر قرص عسل النحل.

وكما يبدو فإن وجود بنية من هذا النوع فيه ما يناقض النتائج التي حصل عليها القمر الصناعي (كوب). فوجود هذا النوع من البنيات يدل فيما يبدو على أن ثمة «خشونة جبلّية» انطبعت على الكون خلال جزء من الثانية بعد الانفجار الكبير، وذلك حسب ما يقوله عالم الفلك س. كو بجامعة كاليفورنيا في سانت كروز*. على أن ما أجراه «كوب» من قياسات لم يكشف عن أي خشونة.

* كو هو أحد كاتبي المقالة التي نشرت في المجلة البريطانية «نيتشر» وسجلت فيها هذه النتائج. والكتاب الآخرون هم توماس برود هيرست وريتشارد أليس بجامعة ديرهام بانجلترا وريتشارد كرون وجفري مون بجامعة شيكاغو.

3

ما بعد منطقة التخوم : على حدود العلم

[8]

الأوتار الفائقة:
أهي فيزياء القرن الواحد والعشرين أم لاهوت العصور الوسطى ؟

وصف البعض نظرية الأوتار الفائقة بأنها نوع من فيزياء القرن الواحد والعشرين تم اكتشافها بالصدفة أثناء القرن العشرين. وكما يقول عنها إدوارد ويتين عالم الفيزياء في جامعة برنستون «ما من أحد قد ابتكرها عامداً، وإنما هي قد ابتكرت في مصادفة سعيدة. ولو شئنا العدل، فإن علماء القرن العشرين ما كان ينبغي لهم أن ينالوا امتياز دراسة هذه النظرية».

وهناك علماء آخرون شبهوا اكتشاف نظرية الأوتار الفائقة باكتشاف نظرية النسبية ونظرية الكم في وقت مبكر من هذا القرن. وعبر البعض عن اقتناعهم بأنه سوف يثبت أنها «نظرية كل شيء» التي طال البحث عنها، نظرية سوف تفسر كل التفاعلات لكل الجسيمات الأساسية، نظرية يمكن أن تستقى منها كل قوانين الفيزياء الأخرى.

وكما رأينا في الفصلين الأول والثاني، فإن النموذج المعياري لتفاعلات الجسيمات هو مجموعة من النظريات الوافية تماماً، بمعنى أنه لا توجد معطيات تجريبية تناقضها. على أن الفيزيائيين النظريين، كما بينت أيضاً من قبل، لم يرضوا أبداً حق الرضا عن هذا النموذج. فهم يودون لو كان لديهم نظرية تفسر السبب في وجود ثلاث عائلات (أو ربما أربع) من الكواركات واللبتونات، والسبب في أن أفراد الكواركات واللبتونات لها ما لها من كتلة، والسبب في أن الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة تأتي بمقادير معينة، والسبب في أن هناك أربع قوى، والسبب في أن هذه القوى تختلف مقادير شدتها اختلافاً واسعاً.

والنظرية التي تفسر هذه الخواص وخصائص أخرى معينة للجسيمات والقوى الأساسية لن تكون نظرية «لكل شيء» بالمعنى الحرفي. وعلى كل حال، فلو تم العثور على نظرية لكل شيء فإنه سيظل على الفيزيائيين أن يعملوا الشيء الكثير. ولكن لن يكون عليهم أن يعملوا في البحث عن القوانين الأساسية للطبيعة التي ينبني عليها كل شيء آخر.

وبعض العلماء يشكون في وجود مثل هذه القوانين الأساسية. فهم يرون أن العلماء لن يجدوا أبداً نظرية لكل شيء لأنه لا يمكن أن يوجد شيء من هذا القبيل. وكمثل، فإن عالم الفيزياء النظرية جون ارشيبلد هويلر بجامعة تكساس يعبر عن هذا الرأي في رسالة إليّ فيقول «لا يمكنني الموافقة على أن هناك معادلة سحرية» !.

وهناك آخرون قد عبروا عن تشككهم في نظرية الأوتار الفائقة بالذات. وكمثل، فإن عالم الفيزياء شيلدون جلاشو الحائز على جائزة نوبل، هو وزميله بجامعة هارفارد بول جنسبارج، يشبهان نظرية الأوتار الفائقة بلاهوت العصور الوسطى. فهما يكتبان أن «التأمل في الأوتار الفائقة قد يتطور إلى نشاط .. يتم توجيهه في مدارس لاهوتية بواسطة من يعادلون في المستقبل اللاهوتيين في العصور الوسطى ولأول مرة منذ العصور المظلمة سنتمكن من أن نرى كيف أن أبحاثنا النبيلة قد تنتهي إلى أن تحل العقيدة المتجمدة مرة أخرى مكان العلم». أما الراحل ريتشارد فينمان وهو أيضاً حائز على جائزة نوبل، فقد عبر ذات مرة عن رأي مشابه مستخدماً ما عرف عنه من أسلوب مندفع. فنظريات الأوتار الفائقة حسب ما يرى هي مجرد «هراء».

وقد حدث عدة مرات في تاريخ العلم أن استقبلت النظريات الجديدة بالتشكك، ولكن لم يحدث قط في حدود ما أعرف، أن نتج عن نظرية جديدة مثل هذا الحماس بين مؤيديها بينما هي تثير في نفس الوقت مثل هذا الازدراء من المعارضين* لها، ومن الواضح أنه سواء ثبت في النهاية أن نظرية الأوتار الفائقة

* من المؤكد أنه كان ثمة خلافات بشأن نظرية النسبية وميكانيكا الكم عندما تم طرحهما، ولكني لا أعتقد أنها كانت خلافات بمثل هذا العنف. فالنسبية مثلاً تقبلها المجتمع العلمي بسرعة نسبية (التورية غير متعمدة تماماً). وتنبؤاتها لم تفاجئ علماء الفيزياء كثيراً وإن كانت قد فاجأت فيما يبدو جمهور غير المتخصصين.

حقيقية أم زائفة، فإنها ولا بد شيء لافت جداً. ولا توجد نظريات علمية كثيرة يعتقد البعض أنها نظريات قادرة على تفسير «كل شيء»، بينما يشبهها البعض الآخر في نفس الوقت بأنها مشابهة للاهوت القرون الوسطى.

جسيمات من نقط:

حتى ندرك السبب في أن مؤيدي الأوتار الفائقة يرون أن هذه النظريات (فهناك كما سوف نرى عدة نظريات عنها) هي فيما ينبغي نظريات تثير الحماس الشديد، سيكون من الضروري أن نفهم شيئاً عن المشاكل المصاحبة للنظريات التقليدية عن تفاعلات الجسيمات وهذه المشاكل تسبب الاعتلال حتى لأكثر النظريات نجاحاً وأشدها رسوخاً مثل نظرية الإلكتروديناميكا الكمية (لعل القارئ يتذكر أن نظرية الإلكتروديناميكا الكمية تفسر القوى التي تسبب تجاذب وتنافر الجسيمات المشحونة كهربياً أحدها مع الآخر).

وتنجم المشاكل لأن هذه النظريات تتناول الجسيمات الأولية وكأنها نقط رياضية. وليس من سبب معين يجعلنا نعتقد أن الجسيم الأولي ينبغي أن تكون له هذه الصفة، بل وثمة أسباب قوية للاعتقاد بأنه ليس كذلك. ومع هذا، فإنه قبل ورود نظرية الأوتار الفائقة، كان الفيزيائيون يصرون على إنشاء نظريات تعتبر الجسيمات الأولية وكأنها بلا أبعاد. وهم قد فعلوا ذلك لأنهم فيما يبدو لهم لم يكن لديهم أي خيار.

وحتى ندرك لماذا كان ينبغي أن يكون الأمر هكذا، سوف ننظر في حالة الإلكترون. ويمكنني أيضاً أن أبدأ بافتراض أن الإلكترون هو كرة جد صغيرة. وإذا كان للإلكترون شكل مختلف عن ذلك فإن هذا لن يؤثر فيما سيلي من حجج. وما أن نفترض أن للإلكترون شكلاً كروياً، حتى ينشأ السؤال التالي: هل يمكن أن يكون شكل الإلكترون قابلاً للتعديل، أو أنه صلب تماماً ؟ وعندما نظر الفيزيائيون في هذا السؤال، اكتشفوا سريعاً أن أياً من الإجابتين توقعهم في المشاكل.

وعالم الحياة اليومية ليس فيه أشياء صلبة تماماً. وكمثل، فرغم أن كرة الجولف قد تبدو عند تحسسها باللمس جامدة وصلبة تماماً إلا أنها في الواقع ليست كذلك. وعندما نضرب كرة الجولف بمضربها، فإن الكرة ككل لا تبدأ في التحرك كلها في

نفس الوقت. فالكرة أولاً يتعدل شكلها عند نقطة الاصطدام بها؛ وبكلمات أخرى، فإن جزء الكرة الذي يضربه المضرب يبدأ في التحرك أولاً. ولا يشرع باقي الكرة في الحركة إلا عندما تنتقل موجة الصدمة الناتجة من جانب إلى الآخر. وقد يبدو للعين أن الكرة تبدأ الحركة في التوّ، ولكن الكاميرا ذات سرعة التصوير العالية ستكشف لنا أن ما يجري هو أكثر تعقيداً بكثير.

والحقيقة أنه لا يمكن أن يوجد في الطبيعة شيء من مثل جسم صلب تماماً. ولو كانت كرة الجولف صلبة هكذا، وبدأت الكرة تتحرك بأسرها في الحال، ستوجب أن تنتقل موجة الصدمة خلال الكرة بسرعة لامتناهية. وهذا محظور حسب النسبية الخاصة لآينشتين، التي تقرر أنه لا يمكن لأي إشارة أو تأثير سببي أن ينتقل بسرعة تزيد عن سرعة الضوء. وهكذا فإنه يبدو أننا عندما نتقبل قيود النسبية ـ وهي واحدة من أحسن النظريات الفيزيائية ثبوتاً ـ فإننا يجب أن نستنتج أن كرة الجولف هي والإلكترون الكروي الذي افترضناه لا يمكن لأي منهما أن يكون صلباً تماماً.

وإذا لم يكن الإلكترون صلباً، فإن شكله إذن يمكن أن يتعدل بمثل الطريقة التي يتعدل بها شكل كرة الجولف. ولسوء الحظ فإن افتراض ذلك يخلق أيضاً مشاكل خطيرة. فلو أمكن أن يتعدل شكل الإلكترونات، سيؤدي هذا إلى خلق تأثيرات ملحوظة تظهر في التجارب، على أنه لم يحدث أن تمت رؤية أي تأثيرات من هذه. وبالإضافة، فإنه لو كان في إمكاننا أن نمطّ الإلكترون ونثنيه، فلن يكون هناك فيما ينبغي أي سبب يمنع إمكان تكسير الإلكترون، ولكننا لا نرى في الطبيعة أي شظايا للإلكترونات.

والنظر إلى الإلكترون كنقطة بلا أبعاد يخلق أيضاً المصاعب، ولكنها مشاكل يثبت في النهاية أنها مما يمكن حله، أو على الأقل فإنه يمكن تجنبها. وكمثل، فإن افتراض أن الإلكترون نقطة رياضية يؤدي إلى استنتاج أن له لا بد كتلة لامتناهية. على أن ثمة إجراء بحيث نكنس تحت السجادة هذه النتيجة غير السارة، وإن كانت نتيجة متوقعة. ويسمى هذا الإجراء إعادة التطبيع.

والإلكترون النقطة تكون له كتلة لامتناهية لأن الإلكترون جسيم مشحون. وحتى ندرك السبب في أن الأمر هكذا، سنتخيل أن الإلكترون قد تكسّر إلى أجزاء عديدة مختلفة. وعندها، فإن القوانين الكهرومغناطيسية تخبرنا بأن الشحنات المتشابهة تتنافر إحداهما مع الأخرى، بينما الشحنات غير المتشابهة تتجاذب وعليه فسوف تكون هناك قوة تنافرية بين الشحنات السالبة لقطع الإلكترون العديدة المختلفة. وبالإضافة، فإنه كلما جُعلت هذه القطع أقرب لبعضها، أصبحت قوى التنافر أشد. وعند مسافة الصفر، أي عندما تُضغط قطع الإلكترون المختلفة معاً في نقطة واحدة، ستصبح هذه القوى لامتناهية. ومن الواضح أن التغلب على قوة تنافرية لامتناهية يتطلب قدراً لامتناهياً من الطاقة، ولكن إذا كان للإلكترون طاقة لامتناهية فإنه سيكون له أيضاً كتلة لامتناهية. وهذا مما يترتب على معادلة آينشتين ط = ك س٢ ($E = mc^2$).

ومن الواضح أن الإلكترونات التي نلاقيها في الطبيعة ليس لها طاقات لامتناهية ولا كتل لامتناهية. والحقيقة أن كتلة الإلكترون قد حددت بدقة كبيرة، وقد ثبت في النهاية أنها صغيرة حقاً. وهذه الكتلة هي ٥١١ر٠ مي ف أو حوالي ٩×١٠-٢٨ جرام.

ومع ذلك، يفترض في نظرية الإلكتروديناميكا الكمية أن الإلكترونات نقاط بلا أبعاد. وسيبدو للوهلة الأولى أنه مما يثير الدهشة أن نظرية تتأسس على فرض سخيف هكذا يمكن أن يثبت في النهاية أنها نظرية ناجحة. على أن النظرية يتم «إنقاذها» بحقيقة أنه ما من أحد قد رأى قط إلكتروناً عارياً. وتخبرنا ميكانيكا الكم أنه لا يوجد ما يسمى بالعدم، وأن الفراغ «الخاوي» لا يكون أبداً خاوياً حقاً. وهكذا فإن الإلكترون يجب أن يكون دائماً محاطاً بسحب من جسيمات تقديرية تستره وتمنعنا من رؤية كتلته اللامتناهية.

وإعادة التطبيع هي تكنيك رياضي تم إنشاؤه للتعامل مع الكتل اللامتناهية ومع اللامتناهيات الأخرى التي تطل بارزة في نظرية الإلكتروديناميكا الكمية، فتجعل هذه اللامتناهيات غير ضارة. وعند تطبيق هذا التكنيك فإن الطاقة اللانهائية المصاحبة لسحابة الجسيمات التقديرية يتم طرحها من طاقة الإلكترون الذاتية اللانهائية، فنحصل على نتيجة متناهية.

وعندما نلاقي لامتناهيات في نظرية علمية، يكون هذا عموماً علامة على أن ثمة خطأ يحدث، وأن النظرية تحوى تناقضات من نوع ما، أو أن ثمة خطأ ما في الفروض الابتدائية. وعندما تكون مسلمات النظرية التي نلاقي فيها لامتناهيات هي

مسلمات لا يمكن تغييرها لتختفي المقادير اللانهائية، فإنه يجب بصفة عامة أن تُنبذ هذه النظرية. وهكذا، فإننا لا نتوقع أن تكنيكاً مثل تكنيك إعادة التطبيع، وهو في المحل الأول تكنيك مشكوك فيه رياضياً، ينتج عنه فيما ينبغي نتائج مقبولة.

على أن هذا التكنيك يعطي بما يثير الدهشة ما هو أكثر من النتائج المقبولة. وإعادة تطبيع الإلكتروديناميكا الكمية ينتج عنها تنبؤات يمكن إثباتها تجريبياً بدرجة من الدقة يندر وجودها في الفيزياء. ونسخة الإلكتروديناميكا وقد أعيد تطبيعها تصل في دقتها إلى أبعاد أصغر كثيراً من نواة الذرة، وقد تم التحقق من تنبؤاتها بدقة تصل إلى ما هو أفضل من جزء واحد من البليون.

ويمكن أيضاً تطبيق إعادة التطبيع على كلتا النظريتين اللتين تصنعان النموذج المعياري. فهذا الإجراء يمكن تطبيقه على النظرية الكهروضعيفة (التي تشمل الإلكتروديناميكا الكمية)، وعلى ديناميكا اللون الكمية. وبالإضافة، فإن ديناميكا اللون الكمية هي والنظرية الكهروضعيفة يمكن توحيدهما في النظريات الموحدة الكبرى، وهذا كما رأينا يمثل محاولة لتوحيد ثلاث من قوى الطبيعة الأربع: أي القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية.

ومن المؤكد أن هناك العديد من النظريات الموحدة الكبرى المختلفة، ولا أحد يعرف أياً منها هي التي يغلب احتمال صحتها، هذا إن كانت أي منها صحيحة. وبالإضافة فإن النظريات الموحدة الكبرى تعطي تنبؤات لم يتم بعد التحقق منها تجريبياً. وعلى كل، يظهر أننا عندما نفترض ما يبدو أنه افتراض غير واقعي، وهو أن العالم مصنوع من جسيمات من نقط، فإن هذا الفرض ينتج عنه نتائج أفضل بكثير مما يحق لنا أن نتوقعه.

ولكن ماذا عن الجاذبية ؟

إذا ثبت في النهاية صحة نظرية أو أخرى من النظريات الموحدة الكبرى، فإن هذا سيمثل تقدماً هائلاً. على أنه حتى في هذه الحالة، سيظل علماء الفيزياء النظرية غير راضين. فالنظريات الموحدة الكبرى فيما يبدو ليست قادرة على تفسير «كل شيء». وسوف تظل هناك بعض المعلمات ـ مثل كتل الجسيمات وما إلى ذلك ـ التي لا تحددها النظرية، وإنما يلزم تحديدها بالتجربة. وبالإضافة، فسيظل على العلماء

أن يواصلوا البحث بشأن تفاعلين، هما القوة المشتركة القوية ـ الضعيفة ـ الكهرومغناطيسية، وقوة الجاذبية. وفي الوضع المثالي، سيكون من الممكن فهم القوى الأربع على أنها مظاهر مختلفة لقوة فائقة وحيدة.

ولسوء الحظ، فإن من الصعوبة ضم الجاذبية مع القوى الثلاث الأخرى. وبصفة خاصة، فإنه لم يثبت بعد أنه يمكن إنشاء نظرية كم للجاذبية. وعندما حاول علماء الفيزياء فهم الجاذبية على أنها تنتقل بواسطة جسيمات افتراضية تعرف بالجرافيتونات كانت نتيجة ذلك هراء نظرياً.

وإجراء إعادة التطبيع قد ثبت استحالة تنفيذه في حالة الجاذبية. ونظرية الجاذبية الكمية مثلها مثل نظريات المجالات الكمية الأخرى ـ كنظرية إلكتروديناميكا الكم والنظرية الكهرضعيفة ونظرية ديناميكا اللون الكمية ـ هي أيضاً ينتج عنها اللامتناهيات، ولكن هذه اللامتناهيات أسوأ كثيراً من تلك التي نلاقيها في النظريات الأخرى. ويبدو أنه لا توجد طريقة للتخلص منها.

ولم يكن من الصعب فهم مصدر هذه المشكلة. فالجاذبية قوة أكثر تعقداً من القوى الثلاث الأخرى. وإذا كانت النسبية العامة نظرية صحيحة ـ وهناك أدلة تجريبية وافرة تدل كما هو ظاهر على صحتها ـ فإن من الضروري أن نستنتج إذن أن تخليق طاقة الجاذبية يخلق قوة إضافية. وبكلمات أخرى فإن الجاذبية تنجذب، والمجال الجذبوي يجذب نفسه.

وبلغة المجال الكمي، فإن هذا يعني أن الجرافيتونات يجب أن يتفاعل أحدها مع الآخر بأساليب لا تتفاعل بها الجسيمات الأخرى الحاملة للقوى. وكمثل، فإن الفوتونات عندما تعمل كحاملة للقوة الكهرومغناطيسية، فإنها تمرح وكل منها يتجاهل وجود الآخر. ومن الناحية الأخرى، فإن من الواضح أن الجرافيتونات لا تفعل ذلك، فهي تتفاعل أحدها مع الآخر كما تتفاعل أيضاً مع الأجسام المتجاذبة التي تبث الجرافيتونات وتمتصها.

وبالإضافة، فإنه يبدو أن ليس من طريقة لتفادي ما ينجم من مشاكل رياضية. وليس هناك طريقة «إعادة تطبيع فائقة» تحل المشكلة. ويجب فيما يبدو أن نستنتج أن نظريتين من أنجح النظريات في تاريخ الفيزياء هما نظريتان متضاربتان، أعني نظرية ميكانيكا الكم ونظرية النسبية العامة. ورغم أن الفيزيائيين واثقون من صحة

كلتيهما، إلا أنه لا توجد لديهم أي فكرة عن الطريقة التي تؤدي إلى ضمهما معاً.

نظريات في تيار جانبي:

بينما كان الفيزيائيون الذين يعملون في التيار الرئيسي للنظريات يناضلون بلا جدوى مع مشاكل توحيد القوى الأربع، والجاذبية الكمية، كان هناك عدد قليل من العلماء يعملون على تيار نظري جانبي ويلاحقون أفكاراً يعتبرها معظم الفيزيائيين أفكاراً غير واعدة تماماً. وبالإضافة، فإن هذه الأفكار عندما تعرضت لتمحيص أدق، أخذ يبدو سريعاً أنها ليست فحسب غير واعدة، بل وسخيفة تماماً. وكمثل، فإن بعض ما أنشئ من نظريات كان فيما يبدو يشير إلى أن المكان قد لا يكون له ثلاثة أبعاد فقط، وإنما له ما يصل إلى خمسة وعشرين بعداً.

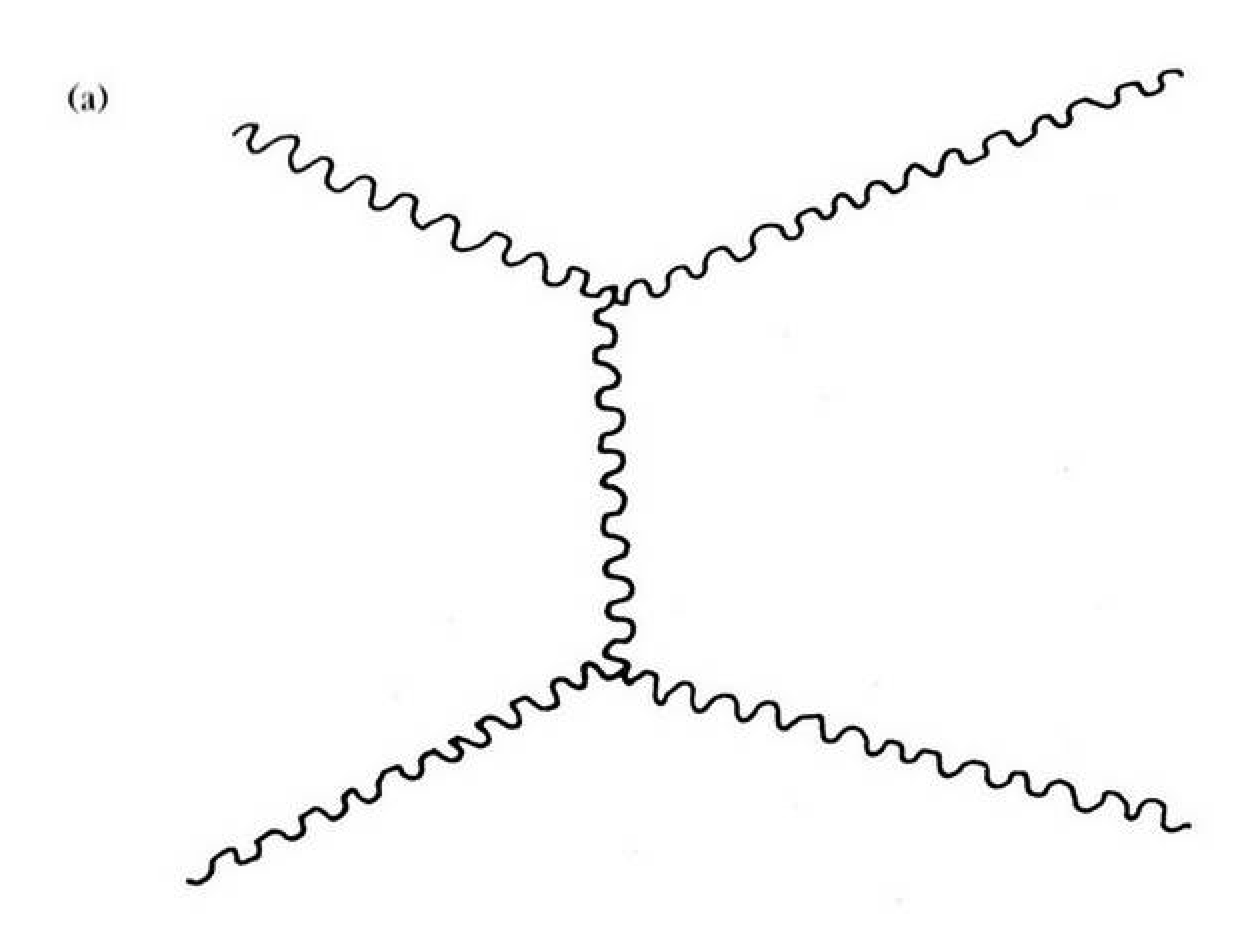
وفي ١٩٦٨، اكتشف جابرييل فينيزيانو، عالم الفيزياء بالمركز الأوروبي للبحوث النووية، معادلة رياضية بدا أنها توصف خواص معينة للهادرونات (الهادرونات جسيمات تحسب بالقوة القوية، «دهادرون» مصطلح عام ينطبق على الباريونات والميزونات معاً).

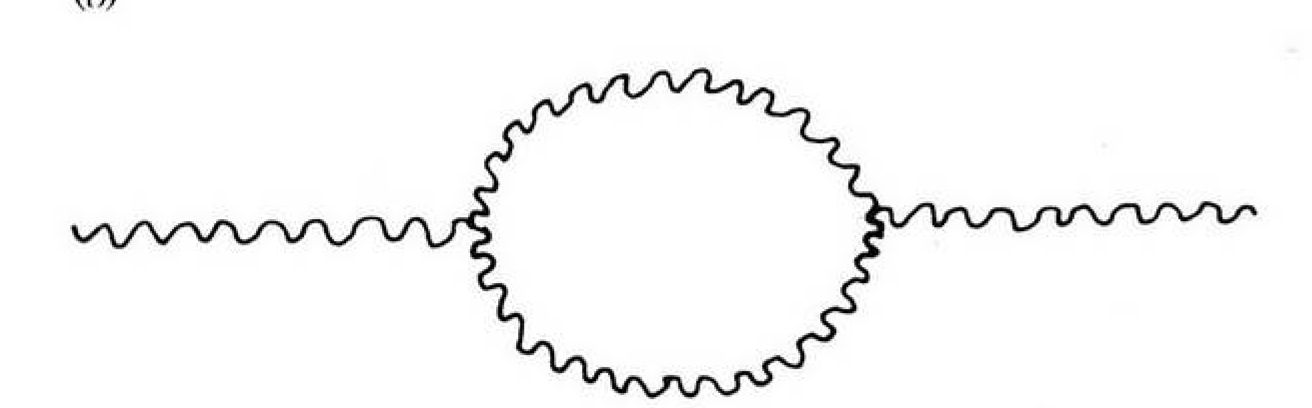
ورغم أن نموذج فينيزيانو ناجح جداً من بعض الوجوه، إلا أنه يحوي تضاربات رياضية معينة.

وسرعان ما أصبح واضحاً أنه من الممكن التخلص من هذه التضاربات. على أن الدواء كما يقول المثل، بدا أمرّ من الداء. فلإنجاز هذه المهمة بدا من الضروري أن تصاغ النظرية أولاً، لا في أربعة أبعاد* فحسب، وإنما في ستة وعشرين بعداً**. وبكلمات أخرى، فإن النظرية لا تصلح للعمل إلا إذا كان هناك اثنان وعشرون بعداً إضافياً وهي أبعاد لم تتم ملاحظتها قط.

* أربعة أبعاد أي أبعاد المكان الثلاثة وبعد الزمان.

** في هذه الحالة يكون هناك خمسة وعشرون بعد مكاني. والزمان هو البعد السادس والعشرون.





الجاذبية تنجذب. في «أ» جرافيتون واحد يبث جرافيتوناً ثانياً، وهذا يمتصه جرافيتون ثالث. وفي «ب» يتحلل جرافيتون وحيد إلى اثنين، يندمجان ليكونا ثانية جرافيتوناً واحداً. والتفاعلات التي من هذا النوع، والتي تقوم بها الأنواع الأخرى من الجسيمات هي مما يعقد الأمور تعقيداً له قدره وهي جعلت من المستحيل حتى الآن بناء نظرية كم للجاذبية.

وعندما يخير الفيزيائيون بين التفكير فيما يبدو كفكرة سخيفة وبين تقبل أوجه تضارب رياضية فإنهم دائماً يختارون الخيار الأول. وعلى كل، فإنهم على وعي بأن العلم كثيراً ما يكتشف أشياء تتعارض مع الحس المشترك. وهم أيضاً يعرفون أن وجود تضارب رياضي هو أمر أسوأ كثيراً لأنه سيؤدي في النهاية إلى التناقض، وطبيعي أنهم لا يستطيعون أن يضعوا ثقتهم في نظرية هي عرضة لأن تناقض نفسها في أي لحظة. ومن الأفضل كثيراً أن نرغم أنفسنا على الاعتقاد «بالمستحيل».

على أنه لم يكن من الواضح كيف ينبغي تفسير هذه الأبعاد الإضافية، إن كان لها حقاً وجود بالفعل. ونحن لا نلاحظ في عالم الحياة اليومية إلا ثلاثة أبعاد مكانية. وبالإضافة، فإن هناك براهين رياضية يبدو أنها تبين أنه لو كان للمكان أكثر من ثلاثة أبعاد، فإن الجاذبية لا يمكن أن يكون لها الشكل الذي نلاحظ به. وكمثل، فلو كان للمكان بُعدان، أو أربعة أو أكثر لن تتمكن كواكب المنظومة الشمسية من الحركة في مدارات مستقرة حول الشمس.

ومع ذلك، فقد اندفع الفيزيائيون في طريقهم غير هيابين، وزادوا تعمقاً في دراسة نظرية فينيزيانو وذلك في محاولة لإجبارها على الكشف عن أسرارها. وأخيراً، تبين الفيزيائي الياباني ـ الأمريكي يوشيرو نامبو أن المعادلة الرياضية التي اكتشفها فينيزيانو يمكن تفسيرها تفسيراً أخاذاً. فالمعادلة يمكن استقصاؤها بأن يفترض أن الهادرونات ليست جسيمات من نقط، وإنما هي بدلاً من ذلك أوتار ذات بعد واحد تتذبذب في مكان ـ زمان من ستة وعشرين بعداً.

ورغم أن نظرية الأوتار لنامبو (والتي لم تكن بعد نظرية أوتار فائقة) قد أثارت بعض الاهتمام، إلا أنها سرعان ما تم نبذها. فهي لم تفشل فحسب في تفسير السبب في عدم ملاحظة الأبعاد الإضافية، وإنما بدا أيضاً أن لها أوجه التضارب الخاصة بها. ومع أن نظرية نامبو تزعم أنها نظرية للهادرونات عموماً، إلا أنه سرعان ما تم اكتشاف أن نظرية الأوتار ذات الستة والعشرين بعداً لا يمكن أن توصّف إلا البوزونات فحسب، أي الجسيمات المصاحبة للقوى. وهي لا يمكن أن تنطبق على البروتونات أو النيوترونات أو جسيمات المادة الأخرى من الفرميونات.

وأياً ما كانه الاهتمام بنظرية الأوتار فإنه سرعان ما خبا. وبدا أن فكرة أن الهادرونات مصنوعة من الكواركات وليس من الأوتار، هي الفكرة الواعدة بما هو أكثر جداً. ووجه علماء الفيزياء النظرية اهتمامهم إلى إنشاء نظرية ديناميكا اللون الكمية وأصبحت نظرية الأوتار على تيار نظري مهمل.

وحتى عندما تبين أن سلوك الفرميونات يمكن توصيفه بنظرية من عشرة أبعاد، فإن ذلك لم يؤدّ إلى إحياء الاهتمام بنظرية الأوتار. وظل معنى الأبعاد الإضافية بلا تفسير، كما أنه كانت توجد أيضاً مشاكل أخرى. وكمثل، فقد بدا أن النظرية تتطلب وجود بوزونات من لف ـ١ ولف ـ٢ هي مما يشبه الفوتون والجرافيتون أكثر من مشابهة الفرميونات التي كانت النظرية تحاول توصيفها. وكنتيجة لذلك، سرعان ما أصبح معظم الفيزيائيين مقتنعين بأن مفهوم الجسيمات كأوتار هو مجرد فكرة أخرى من تلك الأفكار التي تبدو أخّاذة لزمن وجيز، ولكنها مما يثبت فشله في النهاية.

الأوتار الفائقة والجاذبة:

ظل عدد قليل من العلماء مثابرين بالفعل على البحث في نظرية الأوتار. وفي ١٩٧٤ بيّن الفيزيائي الفرنسي جويل شيرك، هو وجون هـ. شوارتز بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا أن وجود هذه (الجسيمات) الإضافية في نظرية الأوتار هو ميزة وليس عيباً. ولو تصورنا الأوتار كأجرام دقيقة الصغر طولها حوالي ١٠-٣٣ سنتيمتر، لأمكن استخدام النظرية لتوحيد الجاذبية مع القوى الثلاث الأخرى. وبالإضافة، فإن قوة الجاذبية كما تتنبأ بها النظرية ستكون بالقدر الصحيح. وعلى ذلك فمن الواضح أن وجود جرافيتونات من لف -٢ في النظرية ليس أمراً شاذاً.

على أن نشر هذه النتيجة لم يؤد إلى زيادة الاهتمام بنظرية الأوتار. وعلى العكس، فقد زاد عدم الاهتمام بها. وفي ذلك الوقت، كان قد أخذ يتضح أن النظريات التي تصنع النموذج المعياري قادرة على تفسير كل المعطيات التجريبية المتاحة للفيزيائيين وقتها. ولم يكن هناك فيما يبدو أي حاجة للبحث في أفكار جديدة هي مما لا يمكن إنكار غموضه. وفي نهاية السبعينيات أصبح مفهوم الجسيمات كأوتار مفهوماً منسياً بالفعل.

ثم حدث في ١٩٨٤ أن تغير الموقف النظري تغيراً مفاجئاً. ففي تلك السنة بين شوارتز، ومايكل جرين بكلية الملكة ماري بلندن، أن نظرية معينة للأوتار، تتضمن

مفهوم السمترية الفائقة، هي نظرية تخلو من أوجه تضارب رياضية معينة تعرف بالشذوذ عن القياس، وهي تلك التضاربات التي أصابت نظرية الأوتار بالاعتلال منذ البداية.

وبخلاف نظرية نامبو الأصلية، فإن نظرية شوارتز وجرين هي نظرية أوتار فائقة. والاسم هو في الحقيقة اختزال لا أكثر لعبارة «الأوتار ذات السمترية الفائقة». والسمترية الفائقة هي مفهوم قد ناقشته بإيجاز في الفصل الخامس، حيث بينت أنه مؤسس على فكرة أن الطبيعة لا يوجد فيها نوعان من الجسيمات، وإنما نوع واحد فقط. فنظريات السمترية الفئقة تضع الفرميونات والبوزونات على نفس المستوى، وتتضمن أن كل فرميون له بوزون «شريك».

ومفهوم السمترية الفائقة فيه قدر كبير من الجاذبية لأنه يجعل من أي نظرية تتضمنه نظرية تبدو أشد بساطة، على أنه أكثر من مجرد مفهوم رياضي جميل. فإدخال السمترية الفائقة يثبت في النهاية أنه وسيلة لتوحيد القوى. وعند تفسير نتائج السمترية الفائقة بالتفصيل، يتكشف أن أي نظرية تتصف بالسمترية الفائقة سوف تتضمن أوتوماتيكياً قوة الجاذبية*.

وبالطبع، فليست كل نظريات السمترية الفائقة بالصالحة. والحقيقة أنه عندما نشر شوارتز وجرين نتائجهما في ١٩٨٤، كان علماء الفيزياء النظرية قد شرعوا في التوّ في استنتاج أن نظرية أخرى من نظريات السمترية الفائقة تعرف باسم الجاذبية الفائقة لا يمكنها أن تتنبأ بما تتم ملاحظته من حقائق تجريبية. والجاذبية الفائقة هي أيضاًنظرية ذات أبعاد كثيرة (ونسختها الأكثر انتشاراً فيها أحد عشر بعداً للمكان - الزمان) وهي تختلف عن نظرية الأوتار الفائقة في أنها تتصور الجسيمات كنقط رياضية.

وعندما نشر شوارتز وجرين ورقة بحثهما، كان رد الفعل قوياً. واندفع علماء الفيزياء النظرية في سائر أنحاء العالم للاطلاع بأنفسهم على الأفكار التي في نظرية الأوتار الفائقة. وخلال فترة من بضع سنوات أصبحت الأوتار الفائقة البؤرة

* يجب أن أضيف هنا لمن لهم دراية ببعض النقاط التكنيكية المعينة، أن السمترية الفائقة «المحلية» هي وحدها التي تتضمن الجاذبية، أما حالة السمترية الفائقة «الشاملة» الأقل تحدداً فلا تتضمن الجاذبية.

الرئيسية للبحث النظري المتقدم.

ومن الواضح أن السبب في حدوث هذا لم يكن قط لأن شوارتز وجرين قد تخلصا من بعض أوجه الشذوذ الرياضية. وإنما يمكن إرجاع بعث الاهتمام بالأوتار الفائقة إلى عدد من العوامل. وأحدها هو تنامي عدم الرضا عن النموذج المعياري. فقد أخذ المزيد والمزيد من الفيزيائيين يحسون بأن هذا النموذج لا يفسر الأمور تفسيراً كافياً. ومن العوامل الأخرى تزايد الاهتمام بفكرة التوحيد، مقروناً بإدراك أن نظريات الجاذبية الفائقة المنافسة لن تكون صالحة فيما يحتمل.

لف الأبعاد الإضافية:

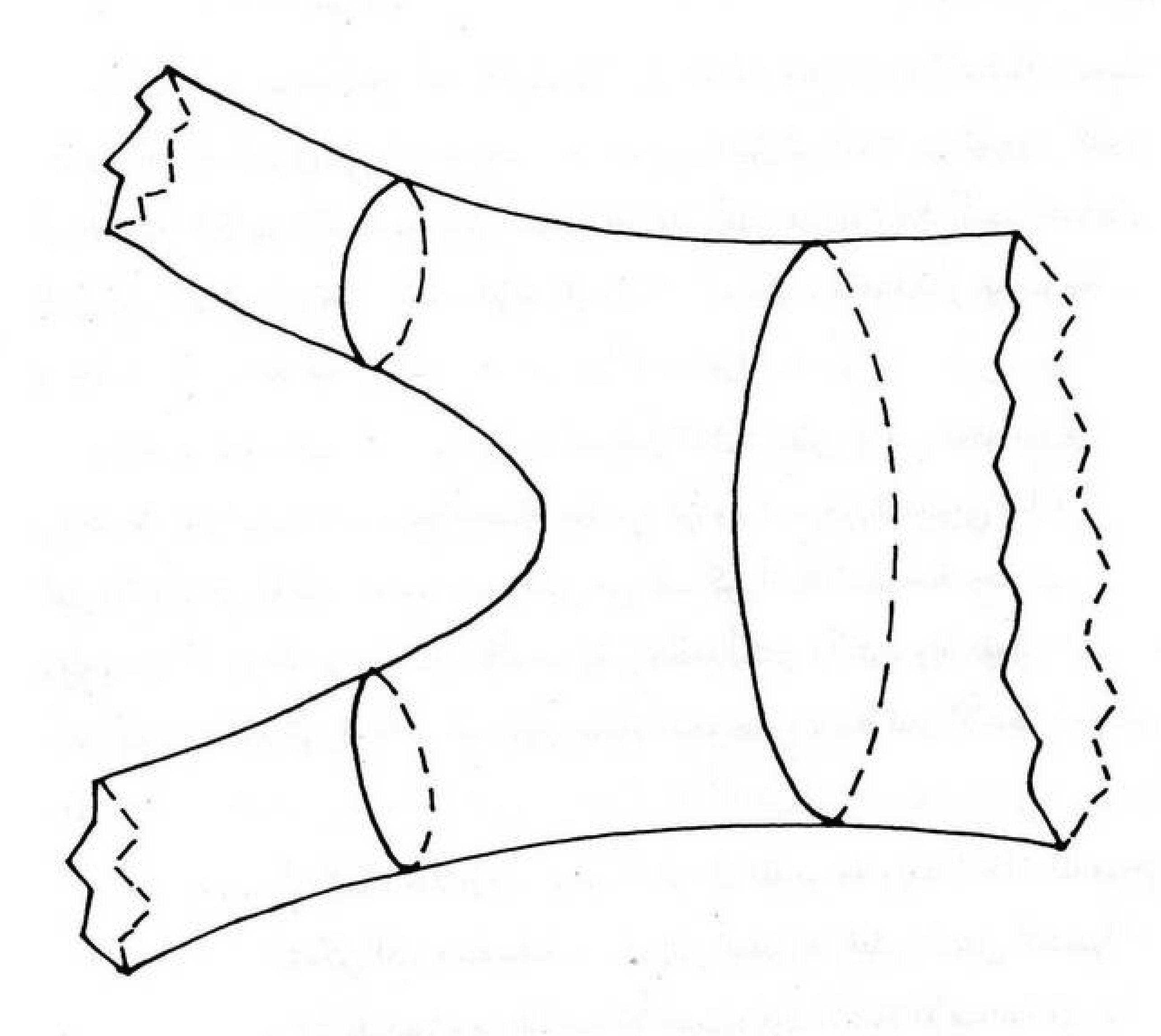
على أن ثمة عاملاً آخر أثار الانتباه للأوتار الفائقة وهو إعادة اكتشاف بحث نظري كان قد أجري في العشرينيات، حيث بين الفيزيائي البولندي تيودور كالوزا أن الأبعاد المكانية الإضافية يمكن تفسيرها على أنها قوى، وقد أثبت الفيزيائي السويدي كلاين أن هذه الأبعاد الإضافية يمكن أن تكون ملفوفة أو مدموجة إلى درجة لا يمكن معها قط إدراك وجودها إدراكاً مباشراً.

ومفهوم الدمج ليس أمراً مخادعاً أو معقداً كما قد نظن. وعلى نحو ما، فإن أي واحد منا له القدرة على دمج أحد الأبعاد في أي وقت. ومن الطبيعي أننا لا يمكننا لف الأبعاد في المكان المحيط بنا. ولكن من الممكن أن نلتقط صفحة من الورق ونلفها إلى أسطوانة ثم نزيد لف الأسطوانة بإحكام أكثر وأكثر. وإذ نفعل ذلك فإن أحد أبعاد صفحة الورق ذات البعدين يصبح مدموجاً، ويزداد قطر الأسطوانة صغراً باطراد.

ومن الطبيعي أن ثمة اختلافاً بين صفحة الورق المدموجة وبعد المكان المدموج. وأنا أشك في أنه يمكن لف صفحة الورق إلى أسطوانة قطرها يقل كثيراً عن سنتيمتر واحد أو ما يقرب. ومن الناحية الأخرى، فإن الأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار الفائقة يتم لفها إلى قدر يقرب من ١٠-٣٣ سنتيمتر، وهكذا فإن حجمها يصبح تقريباً مماثلاً لحجم وتر. والآن، فإن ١٠-٣٣ مقدار أصغر من قطر نواة الذرة بحوالي ١٠٢٠ مثل، فمقياس قطر الذرة هو حوالي ١٠-١٣ سنتيمتر. ومن الواضح أن لا الأوتار الفائقة ولا الأبعاد المدموجة سيتم قط ملاحظتها مباشرة، حيث إن

الطاقة المطلوبة لسبر المادة على هذا العمق هي ببساطة طاقة هائلة. وحتى لو أمكننا بناء معجل جسيمات كبير كبر منظومتنا الشمسية، فإن الطاقة الناتجة ستكون أصغر جداً مما يلزم بما يصل لأضعاف كثيرة.

والأوتار الفائقة يمكن من الوجهة النظرية أن تكون مفتوحة أو مغلقة. والوتر المفتوح تكون أطرافه حرة، أما الوتر المغلق فهو يشكل حلقة مقفلة. والأوتار في نظرية نامبو الأصلية كانت مفتوحة. ورغم أن كلا النوعين يمكن وجودهما في النظريات الحديثة إلا أن النتائج الناجمة عن فكرة وجود الأوتار الفائقة كحلقات مقفلة تعد عموماً نتائج واعدة بأكثر. وبالإضافة، فمع أن نظرية الأوتار الأصلية لها

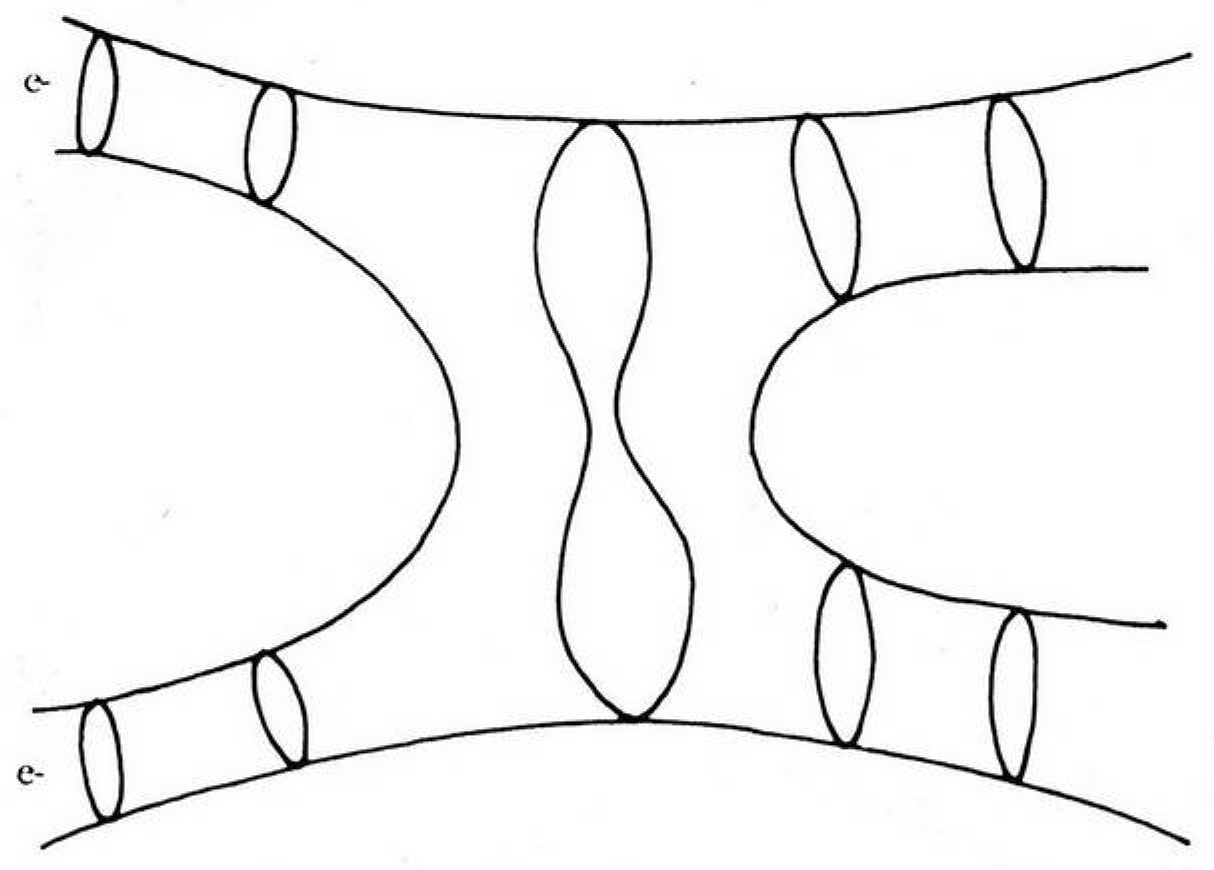


«شكل سربال» قد ينضم وتران منغلقان ليشكلا وتراً واحداً. وفي نظرية الأوتار الفائقة يحدث شيء مثل هذا عندما «يمتص» أحد الجسيمات جسيماً آخر. ويصبح للوتر الواحد حلقة واحدة مغلقة حيث كان يوجد اثنتان من قبل. وبالمثل فإنه عندما نلف الشكل لنديره، سيصور الشكل عندها وضعاً حيث يتحلل جسيم واحد (وتر من حلقة واحدة) إلى اثنين.

ستة وعشرون بعداً إلا أن كل نظريات الأوتار الفائقة الآن هي نظريات ذات عشرة أبعاد. وقد تم إيضاح أنها يجب أن يكون لها هذا العدد من الأبعاد إذا كان لها أن تكون نظريات متماسكة.

مشكلة اللامتناهيات وأهوال أخرى:

إذا كانت نظرية الأوتار الفائقة صحيحة، فإن المكونات الأساسية للمادة ليست إذن جسيمات من نقط. وعلى العكس، فإن لها حجماً صغيراً ولكنه غير محدد. وهذه الحقيقة قد خلقت الأمل في أن تلك اللامتناهيات التي تصيب نظريات مجال



التفاعل بين إلكترونين. ومن الممكن طبيعياً حدوث تفاعلات أكثر تعقداً. وهاهنا، يتفاعل الإلكترونان أحدهما مع الآخر أثناء تحركهما خلال الفضاء. وتندمج حلقتان من الأوتار لفترة وجيزة، ثم تنفصلان مرة أخرى.

الكم بالاعتلال ربما تكون غير موجودة في نظرية الأوتار الفائقة، وربما يصبح من غير المطلوب هنا استخدام إجراء إعادة التطبيع، ذلك الإجراء المشكوك فيه رياضياً.

ولسوء الحظ، فإنه ما من أحد يعرف ما إذا كانت نظريات الأوتار الفائقة تحوي لامتناهيات أم لا. فهذه النظرية التي تأسست على فروض بسيطة - ومن المؤكد أن

فكرة أن الجسيمات هي أساساً أوتار تتذبذب هي فكرة بسيطة ـ يمكن أن تصبح عند تفسيرها بالتفصيل نظرية معقدة تماماً من الوجهة الرياضية. ونظريات الأوتار الفائقة هي حقاً معقدة، ويبلغ من كثرة تعقيدها أنه لم يُعثر على حلول مضبوطة للمعادلات الرياضية المصاحبة لها. كما أن علماء الفيزياء النظرية لا يعللون أنفسهم بأي أمل في أن يتم الحصول على حلول مضبوطة في المستقبل المنظور.

وإذن، أصبح من الواجب على من يعملون بنظرية الأوتار الفائقة أن يعتمدوا على إجراء رياضي هو سلسلة من التقريبات المعروفة بنظرية الاضطراب. وعندما نستخدم نظرية الاضطراب، فإننا نسير خطوة فخطوة، فنصنع أول درجة من

e-

e-

…د هنا نفس العملية المبينة في شكل سابق وقد تم تصويرها في رسم فينمان البياني التقليدي. فإذا …نا الإلكترونات جسيمات من نقط بدلاً من أن تكون حلقات من الأوتار فإنها لا «تندمج» مطلقاً …يكون ذلك مستحيلاً)، وإنما هي ببساطة تتبادل أحد الفوتونات. ولا يعرف أحد بعد أي صورة هي الأقرب للصحة؛ ونظرية الأوتار الفائقة مازالت نظرية تخمين بالغ.

التقريب، ثم ثاني درجة من التقريب، ثم (إذا كانت المعادلات لم تصبح بعد أعقد من أن يتناولها التقريب) يُعمل تقريب ثالث، وهلمّ جراً. وحتى الآن فإن الحلول التقريبية التي تم الحصول عليها في نظرية الأوتار الفائقة لا تحوي أي لانهائيات، ولكن هذا لا يترتب عليه بالضرورة أن اللانهائيات ستظل غائبة عند الدرجات الأعلى من التقريب، وعدد هذه الدرجات الأعلى لا نهاية له. ونحن في نظرية الاضطراب نقترب من الحل المضبوط أكثر وأكثر عند كل خطوة. ولكننا لا نصل قط تماماً إلى هذا الحل المضبوط. وللحصول على حل مضبوط، يتطلب الأمر عدداً لانهائياً من الخطوات.

ومع كل، فإن حقيقة عدم ظهور لامتناهيات حتى الآن هي مما يعد أمراً واعداً. والموقف يختلف عما نلاقيه في النظريات الأخرى، حيث يمكن في التوّ أن تطلع لنا اللامتناهيات. ومع ذلك، ينبغي ألا نستنتج أن عدم وجود هذه المشكلة بالذات يجعل لنظرية الأوتار الفائقة نجاحاً غير محدود. فنظرية الأوتار الفائقة لها مشاكلها الخاصة، والتي يبدو أن بعضها مشاكل هائلة قد تستغرق أجيالاً حتى يتم العثور على سبيل لمعالجتها، هذا إذا ثبت حقاً في النهاية أن من الممكن معالجتها على الإطلاق.

وأول كل شيء، أن هناك عدداً من النظريات المختلفة للأوتار الفائقة، كما أنه يمكن جداً اكتشاف نظريات أخرى مستقبلاً. ورغم أن بعض النظريات تبدو واعدة أكثر من غيرها، إلا أن أحداً لا يعرف أيها الأكثر احتمالاً لأن تكون صحيحة. والحقيقة، أن عدد نظريات الأوتار الفائقة يمكن أن يكون أياً ما بين ست نظريات وعدة آلاف منها، وذلك حسب الطريقة التي نعد بها هذه النظريات. وقد تم اكتشاف ست نظريات متماسكة ذات عشرة أبعاد، ولكن كل نظرية من هذه النظريات الست يمكن أن تتخذ أشكالاً عديدة مختلفة وذلك حسب الطريقة التي يتم بها دمج المقاييس الستة الإضافية.

ولو كان هناك بعد واحد إضافي فحسب، فلن تكون هناك مشكلة. فهذا البعد لا يمكن أن يلتف على نفسه إلا بطريقة واحدة. ومن الناحية الأخرى، فإنه مع ستة أبعاد تصبح الإمكانات متعددة، فالأبعاد الستة المدموجة يمكن أن يلتف أحدها من داخل الآخر ومن حوله بأشكال عديدة مختلفة. والفيزيائيون ليس لديهم أي فكرة

عن من مِن هذه الهندسات الكثيرة المختلفة الناتجة عن ذلك هي ما يقابل الهندسة التي يحتمل في الغالب أن نلاقيها في العالم الفيزيقي الحقيقي.

وفيما يتعلق بذلك، فإن العلماء لا يفهمون السبب في أنه ينبغي أن تندمج ستة أبعاد بينما الأبعاد الأربعة الأخرى ليست كذلك. وفيما يعرض، فإن المشكلة ليست مشكلة فهم سبب لف الأبعاد الستة؛ وإنما هي على العكس من ذلك مشكلة فهم السبب في أن أبعادنا الأربعة ليست مدموجة أيضاً. وهذا ليس إلا مجرد البداية. فنظريات الأوتار الفائقة، مثلها مثل كل النظريات الأخرى في الفيزياء، تتم صياغتها في المكان والزمان. والمكان والزمان هما رغم كل شيء المكونان الأساسيان لعالمنا، أو أنهما على الأقل ظلا يبدوان هكذا دائماً. وليس من أحد يعرف كيف يمكن إيجاد نظرية لا تعتمد عليهما.

على أن هناك الكثيرين من علماء الفيزياء النظرية ممن يشكون شكاً مزعجاً بأنه سيثبت في النهاية مع نظرية الأوتار الفائقة أن هذا النهج التقليدي خطأ. فهم يظنون أن المكان والزمان هما بمعنى ما قد بنيا من الأوتار الفائقة نفسها. وهم حالياً لا يعرفون كيف يعالجون هذه المشكلة. وعلى كل، فإن بعض العلماء يظنون أن نظرية الأوتار الفائقة ستؤدي في النهاية إلى تغيير أفكارنا عما يكونه المكان والزمان.

وأخيراً، فإن نظرية الأوتار الفائقة لها أيضاً مشاكل ذات طبيعة أكثر دنيوية. وهي مشاكل مشابهة لتلك التي لاقيناها من قبل عند مناقشة النظريات الأخرى. ولما كانت نظرية الأوتار الفائقة جد معقولة رياضياً، فإن الفيزيائيين أمكنهم فحسب أن يستقوا منها تنبؤات قليلة محدودة. وهذه التنبؤات القليلة التي تم الحصول عليها تتناقض وما يلاحظ من الحقائق.

والأوتار الفائقة يتم تصورها على أنها أجرام تتذبذب في عشرة أبعاد. ومستويات الذبذبات المختلفة تقابل ما يلاحظ من الجسيمات المختلفة. وعلى وجه التحديد، فإن الذبذبات التي لها أقل طاقة تقابل الجسيمات التي لها كتلة من صفر. ومستويات الطاقة التي تلي ذلك انخفاضاً ينتج عنها جسيمات كتلتها حوالي $١٠^{١٩}$ جي ف، وهذه أكبر من كتلة البروتون بما يقرب من $١٠^{١٩}$ مثل، وهذه أقل شيئاً من جي ف واحد - و $١٠^{١٩}$ جي ف هي تقريباً كتلة جسيم من التراب.

ومن الواضح أن هذه النتيجة لا تثبتها التجربة. وهناك جسيمات قليلة لها كتلة

من الصفر مثل الفوتونات، والجلونات أيضاً فيما يحتمل هي وجسيمات النيوترينو، ولكن الجسيمات الأخرى ليست كذلك. والجسيمات التي لها كتلة بالفعل لا يمكن أن تقابل الجسيمات التي تتنبأ بها النظرية والتي لها كتلة من $١٠^{١٩}$ جي ف. فهذا القدر أكبر مما ينبغي بعدة أضعاف.

ولكن ذلك لا يثني منظري نظريات الأوتار الفائقة عن طريقهم. وهم يشيرون إلى أنه مع زيادة تنامي نظرية الأوتار الفائقة لن يكون من غير المعقول توقع أن النظرية سوف تنتج تصويبات صغيرة ستعطي في النهاية الكتل الصحيحة. كما أن هؤلاء المنظرين ليسوا منزعجين من حقيقة أنه لم تتم قط رؤية جسيمات أولية كتلتها $١٠^{١٩}$ جي ف. وعلى كل، فكما أن معجلات الجسيمات الموجودة حالياً لا تستطيع إنتاج جسيمات كبيرة هكذا فإنها بمثل ذلك لا يمكن استخدامها في سبر بنية المادة على أبعاد من $١٠^{-٣٣}$ سنتيمتر.

ومن الناحية الأخرى، فإن حقيقة أن نظرية الأوتار الفائقة ينتج عنها تنبؤات مثل هذه، ليس فيها ما يؤدي إلى أي وضع مثالي. ولو كانت نظرية الأوتار الفائقة صحيحة، ولو ثبت في النهاية أن المدى الطبيعي لكتلة الجسيمات الأولية هو لمضاعفات لمقدار $١٠^{١٩}$ جي ف، فسيكون علينا أن نستنتج أن كل عالمنا الماكروسكوبي، الذي بني من بروتونات ونيوترونات وزنها أقل شيئاً من جي ف واحد، ومن إلكترونات هي حتى أخف وزناً من ذلك، هذا العالم الماكروسكوبي هو نتيجة تصويبات فائقة الدقة في نظرية ذات عشرة أبعاد.

ولكن هل هناك حقاً عشرة أبعاد ؟

ما يبدو الآن هو أنه قد لا يكون هناك عشرة أبعاد. ورغم أنه قد بدا أصلاً أن نظرية الأوتار الفائقة يجب أن تصاغ في عشرة أبعاد للمكان - الزمان، إلا أن أحدث النتائج تدل على أن هذا قد لا يكون ضرورياً مطلقاً. والحقيقة أن إدوارد ويتين قد استنبط طريقة لصياغة نظرية الأوتار الفائقة بالأبعاد الأربعة المعتادة. وفي نظرية ويتين، تظل الأبعاد الستة الإضافية موجودة، ولكنها ليس لها صفة مكانية. على أنه من غير المفهوم بعد على وجه الدقة ماذا تكونه حقاً هذه «الأشياء» الستة الإضافية في النظرية ذات الأبعاد الأربعة. ومن الواضح أن كل ما يمكن قوله هو إن

النظرية تتطلب ستة متغيرات إضافية من نوع ما.

والنظرية التي صيغت بأربعة أبعاد ليست بالضرورة مختلفة عن تلك التي تتطلب عشرة أبعاد. والأكثر احتمالاً هو أن الصيغتين هما ببساطة نفس النظرية في شكلين مختلفين. ومن الطبيعي أنه توجد هنا بعض مشاكل في التصور، وهذه المشاكل لن يتم التخلص منها قبل أن يتمكن العلماء من فهم النظرية التي ينبغي منطقياً أن تصاغ بها نظرية الأوتار الفائقة، ومن فهم ما يكونه حقاً المكان والزمان.

النظرية والتجربة:

إذا كان ثمة شيء واضح، فهو حقيقة أن للذهن البشري القدرة على بناء أنسقة نظرية تتميز بخاصية الوصول إلى أبعد الآفاق وبخاصية الخيال الجامح. وبعض هذه الخيالات الجامحة التنظيرية هي حقاً موضع الشك. ويمكننا أن نجد أمثلة على ذلك في كل مجال تقريباً من مجالات سعي الإنسان، وذلك على مدى يبدأ من أشباه العلوم مثل التنجيم حتى التجاوزات الميتافيزيقية في مجال الفلسفة، وحتى الانحرافات التي من داخل العلم نفسه. وليس أكثر وضوحاً من حقيقة أنه ما من فكرة مهما كان شذوذها إلا وقد آمن بها بعض البشر في مكان ما عند زمن ما.

والعلماء عموماً يعتمدون على التجربة لتمحيص تحويماتهم من التنظيرات الخيالية. وكمثل، فإن الفيزيائيين في القرن التاسع عشر كانوا يعتقدون أن الضوء لا يمكن أن ينتشر خلال فضاء خاوٍ، وأن هناك حاجة لوسط يدعى الأثير غير الموجود إلى حد أصبحت معه أفكارهم مضحكة. وكمثل، فحسب أحد الفيزيائيين المبرزين، فإن لهذا الأثير الوضاء الذي لا يمكن رؤيته ولا الإحساس به كثافة تبلغ آلاف الأطنان لكل ملليمتر مكعب، وهو «يتلوى بسرعة الضوء». وفي النهاية لم تتوقف مثل هذه الأفكار إلا عندما برهن آينشتين على أن فكرة الأثير هي (بكلماته نفسها) «حشو لا يلزم».

ومنذ ذلك الوقت، أسقطت التجربة أفكاراً خيالية أخرى عديدة (وأحياناً أثبتتها). وعندما يحدث ذلك فإنه غالباً ما يؤدي إلى المزيد من التقدم العلمي، ذلك أنه عندما يكتشف العلماء أن نظرية من أحب النظريات إليهم هي نظرية غير صالحة، يصبح من الواجب عليهم أن يبحثوا عن نظرية أخرى صالحة.

ولسوء الحظ، فإن نظرية الأوتار الفائقة لم يحدث لها ذلك خلال هذا القرن. فالنظرية جديدة جداً، ومختلفة جداً عن النظريات السابقة، وهي رياضياً معقدة جداً. وحقيقة أن المقادير التي يود الفيزيائيون استخدام هذه النظرية للتنبؤ بها، مثل كتل ما يلاحظ من جسيمات، هي في أحسن الأحوال نتائج لتصويبات فائقة الدقة لم يتم بعد اكتشافها، هذه الحقيقة لا تحسن بأي حال من وضع الأمور.

وكنتيجة لذلك، فإن هناك خطراً حقيقياً من أنه يمكن أن يكتشف جيل كامل من علماء الفيزياء النظرية، بعد عقد واحد أو عدة عقود من الآن، أنهم كانوا يتابعون خرافة نظرية. ومن الممكن حقاً أن يثبت في النهاية، كما طرح فينمان، أن نظرية الأوتار الفائقة ليست إلا «هراء».

على أن نظرية الأوتار الفائقة مازالت مركز الانتباه في مجتمع علماء الفيزياء النظرية. والواقع أن كل أفضل العقول في هذا المجتمع مشغولة بها. وبعضهم بالتأكيد، مثل جلاشو وفينمان قد رفضوها، ولكن الأغلبية لم تفعل.

ورغم كل شيء، فإن نظرية الأوتار الفائقة هي ما نحب أحياناً أن نسميه «المباراة الوحيدة في المدينة». ومع أن العلماء قد استكشفوا كل فكرة ممكنة، فما من أحد قد وجد أي طريقة أخرى معقولة لتوحيد القوى الأربع داخل نظرية واحدة، وكما رأينا، فإن توحيد هذه القوى هو الكأس المقدس بالنسبة لأي عالم فيزياء نظرية. وربما سيمكن، أو لن يمكن الوصول إلى هذا الهدف، على أنه لو تم الوصول إليه فسوف يؤدي ذلك إلى إثراء الفهم العلمي للمبادئ الأساسية للطبيعة بحيث تكون فوائد ذلك هائلة.

وقد عبر ستيفن واينبرج، الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل، عن فكرة يبدو أنها شائعة هذه الأيام بين علماء الفيزياء النظرية. ولا يزعم واينبرج أنه يعرف ما إذا كانت نظرية الأوتار الفائقة ستثبت أو لا تثبت صحتها في النهاية. وهو يقول «أن تكون نظرية الأوتار الفائقة فكرة جيدة لهو أمر يعتمد على ما سينتج عنها». ولكن سيكون «من الجنون» ألا نتابع أمر هذه النظرية، كما يضيف واينبرج. وهو يعترف بأن الفيزيائيين قد يجدون في النهاية أن هناك عقبات «لا تذلل» في سبيل العثور على تفسير يقابل الواقع الفيزيقي. على أنه يضيف أن «من المؤكد أن العمل على استنباط ذلك خلال السنوات القليلة القادمة سيكون أمراً فيه الكثير من المتعة».

[9]

من أين أتى الكون ؟
لماذا لا يلتف على نفسه في كرة ؟

الفيزيائيون مثلهم مثل كل الناس فيهم المتدين، وفيهم اللاأدري وفيهم الملحد. وسواء كان الفيزيائيون يعتنقون إحدى الديانات أو لا يفعلون فإنهم في بحوثهم العلمية لا يلجأون لتفسير الظواهر الفيزيائية بأحكام لا عقلانية، وإنما يحاولون العثور على قوانين فيزيائية تفسر الظاهرة الطبيعية. وكمثل، إذا كان من المعترف به أن الذهب أصفر، فإن عالم الفيزياء أياً كان موقفه الديني لن يكتب في بحث فيزيائي أن التفسير العلمي لصفرة الذهب هو أنه قد قضي له بأن يكون بهذا اللون، وإنما سيتناول في بحثه أن الذهب يجب أن يكون أصفر لأن هناك قوانين فيزيائية تجعله يعكس الضوء عند أطوال موجات معينة وليس عند غيرها.

وبالنسبة للإجابة عن السؤال من أين أتى الكون، فإنه يبدو رغم كل شيء أنه قد أتى بالانفجار الكبير الذي حدث فعلاً. وبالتالي يرى البعض أن أي حديث عن أصل الكون يجب أن يفسر فيه ماذا كان يجري قبل أن يقع الانفجار الكبير.

ولعلك ستعتقد أن النظر بالتخمين بشأن موضوع مثل موضوع أصل الكون يقع في مجال الميتافيزيقا وليس في مجال العلم، بل إن الأمر كان كذلك حقاً في وقت من الأوقات. ومنذ زمن ليس بجد طويل كان العلماء ينزعون إلى التشكك في فكرة أنه يمكننا أن نقول أي شيء له معنى مفهوم حقاً عند الحديث عن الظروف التي كانت سائدة أثناء الثواني الأولى المعدودة بعد الانفجار الكبير. أما أن نقترح أنه يمكننا حتى أن نرتد وراء لأبعد من ذلك فهذا ما كان يعد سخفاً.

على أن الموقف أصبح مختلفاً أثناء السبعينيات والثمانينيات إذ اكتشف العلماء أن الأحداث التي وقعت خلال أول كسر صغير جداً من الثانية بعد بدء الانفجار

الكبير يمكن أن يكون لها تأثيرات هي مما يلاحظ اليوم. وعلى وجه التحديد، فقد أصبح الكثيرون من العلماء مقتنعين بأن تمدداً قد بدأ عند زمن ١٠-٣٥ من الثانية فنتج عنه ملامح في الكون هي مما يمكن ملاحظته اليوم.

وكما سبق أن ذكرت، فإنه ما من شيء يجبرنا على أن نؤمن بأن التمدد الانتفاخي قد وقع، على أن النموذج الانتفاخي نموذج ناجح جداً بحيث يصعب تصوّر أنه يمكن أن يكون غير صحيح تماماً. والحقيقة أننا ينبغي ألا ندهش من أن العلماء قد تشجعوا كثيراً بنجاح نظريات الكون الانتفاخي حتى أنهم يحاولون النظر وراء إلى أوقات هي حتى أكثر تبكيراً عن ذلك، ويحاولون التخمين بشأن أصل الكون نفسه. وبمعنى ما، فإن بعض الفيزيائيين بدأوا حتى في التخمين بشأن ما يمكن أن يكون قد جرى قبل بدء الزمان.

وأنا قد تحدثت في هذا الكتاب من آن لآخر عن تخوم حدود العلم، مستخدماً كلمة «تخوم» لتدل على البحث الذي ينطلق من نظريات ثبت رسوخها جيداً. وكمثل، فإن البحث النظري المؤسس على نظرية الانفجار الكبير التي تم إثباتها جيداً هو مما يمكن القول بأنه يقع في التخوم. أما نموذج الكون الانتفاخي الذي يعد معقولاً ولكنه أقل في إثباته، فهو مما يمكن القول بأنه يقع قريباً من حدود العلم.

وإذا كنت سأواصل استخدام هذه المصطلحات، فلعله سيكون من الضروري أن أقول إن التخمين عن أصل الكون هو مما يقع أحياناً خارج نطاق العلم بالكلية، أو هو على الأقل فيما وراء هذه الحدود. ذلك أن العلماء عندما ينظرون بالتخمين بشأن أمور مثل هذه، فهم بذلك يبدأون في استكشاف مناطق من الفكر لا توجد لديهم نظرية يسترشدون بها.

والعلماء عندما يستخدمون نظرية النسبية العامة لآينشتين ليتعقبوا تمدد الكون وراء حتى بداية الانفجار الكبير، فإنهم ولا مفر سيصلون إلى استنتاج أن مادة الكون كلها عند البداية كانت ولا بد مضغوطة في نقطة رياضية تسمى المفردة. وبكلمات أخرى فإنه حسب النسبية العامة يكون للكون عند زمن الصفر أبعاد مكانية من صفر، وتكون كثافة المادة لامتناهية. وبالإضافة، فإنه ليس هناك أية وسيلة كانت لتجنب هذا الاستنتاج. وقد أثبت الفيزيائيان البريطانيان ستيفن هوكنج وروجر بروز أثناء الستينيات سلسلة من النظريات الرياضية تدل على أنه

إذا كانت النسبية العامة نظرية صحيحة ككل فإنه لا مفر من استنتاج وجود مفردة في البداية.

هل تكون كثافة المادة عند البداية لامتناهية حقاً؟ بالطبع لا. فالنظريات العلمية كلها لها حدودها. وهناك دائماً ظروف متطرفة تنهار عندها أفضل النظريات، وعندما تأخذ اللامتناهيات في الطلوع علينا من إحدى النظريات، فإنه يمكننا عموماً أن نعدها بمثابة العلامات للوصول إلى هذه الحدود. وبكلمات أخرى، فإن التنبؤ بمفردة هو في أغلب الاحتمال إشارة إلى أننا نغامر في منطقة حيث النسبية العامة لم تعد بعد النظرية الصحيحة.

وهذا الاستنتاج ليس فيه ما يدهش كثيراً. وأياً كان الحال، فلا بد أن المادة كانت في حالة انضغاط شديد أثناء المراحل المبكرة من الانفجار الكبير. وبالتالي، فإن تأثيرات الكم كانت ولا بد مهمة. ويجب أن يكون لدينا نظرية جاذبية كمية حتى يمكننا أن نأمل في أن نوصّف ما كان يجري توصيفاً صحيحاً، على أنه كما رأينا، فإن نظرية الجاذبية الكمية لم توجد بعد. ويأمل الكثيرون من الفيزيائيين أن نظرية الأوتار الفائقة ستصبح في النهاية نظرية جاذبية كمية. على أن نظرية الأوتار الفائقة مازالت في مرحلة مبكرة من نشأتها. وهي لم تصل بعد إلى مرحلة تقرب حتى من التنبؤ بسلوك أي جسيم منفرد من بروتون أو نيوترون أو إلكترون. بل ربما ستمرّ عشرات السنين قبل أن يصبح في الإمكان أن نتصور تطبيق النظرية على المراحل المبكرة للانفجار الكبير.

ونحن لا يمكننا أيضاً استخدام النموذج المعياري لتوصيف المراحل المبكرة للانفجار الكبير. فالنموذج المعياري يصلح بكفاءة حيث يمكن إهمال قوة الجاذبية، كما هو الحال في الظروف الأرضية العادية، وفي الظروف الموجودة في الداخل من النجوم، أو داخل معجلات الجسيمات ذات الطاقة العالية، حيث تكون الجاذبية جد ضعيفة بحيث لا يلزم قط علينا أن نأخذها في الاعتبار. أما أثناء المراحل الأولى من الانفجار الكبير، فإن الجسيمات تكون جد متقاربة معاً بحيث أن تفاعلاتها الجذبوية تصبح ولا بد تفاعلات مهمة حقاً. والحقيقة أنه يمكن بالحساب الوصول إلى أنه أثناء أول ١٠-٤٣ من الثانية لا بد أن القوى الجذبوية كانت بمثل القوى الناتجة عن التفاعلات الثلاثة الأخرى.

ونحن عندما نحاول النظر وراء لأصل الكون، لا بد أن نستنتج أن كل القوانين المعروفة للفيزياء سوف تنهار. فأثناء أول ١٠-٤٣ من الثانية لا تعود النسبية العامة صالحة بعد للعمل، كما لا يمكن أيضاً تطبيق النموذج المعياري.

على أنه بما يعد مفارقة على نحو ما، لم يثبت أن في ذلك ما يعوق النظر بالتخمين. وقد حاول العلماء في السنوات الأخيرة أن يلتفوا من حول هذا الحاجز النظري. وحاولوا أن ينقبوا في أمور مثل السؤال: من أين قد يأتي الكون، وماذا يمكن أن يحدث قبل بدء الزمان.

ثلاث نظريات عن أصل الكون:

توجد نظريات عديدة عن أصل الكون، أو على الأقل فإن بعض هذه النظريات لها تنويعات مختلفة عديدة. وعلى كل، فإن هذه النظريات يمكن تصنيفها في ثلاثة أنواع مختلفة:

١- رغم أن الكون ليس أبدياً، فإنه ليس له بداية ولا نهاية. أو كما يقول ستيفن هوكنج فالكون قد يكون متناهياً إلا أنه ليس له حد. وهو ربما قد بدأ في زمان تخيلي *.

٢- الكون قد بدأ كتراوح كمي ميكروسكوبي. وهو قد اندفع إلى الوجود من العدم تماماً مثلما تفعل الجسيمات التقديرية.

٣- كوننا قد بدأ كتراوح كمي في كون موجود من قبل. ومن الواضح أن هذا تنويع من (٢) على أني قد أوردته منفصلاً، لأنه يتضمن أن الأكوان قد تتوالد ذاتياً إلى ما لا نهاية.

لا حدّ:

فكرة أن الكون متناه ولكنه بلا حد قد أنشأها ستيفن هوكنج بالاشتراك مع

---

* «الزمان التخيلي» لا يقصد به أنه زمان وهمي، وإنما هذا اصطلاح رياضي لزمان يختلف عن الزمان العادي وله أسسه الرياضية العلمية. (المترجم)

الفيزيائي جيمس ب. هارتل الذي يعمل بجامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا. وهذا الاقتراح - وهوكنج مهتم جداً بأن يؤكد أنه اقتراح فحسب وليس نظرية مكتملة النمو - قد تم توصيفه في كتاب هوكنج «تاريخ موجز للزمان».

والحقيقة أني أجد أن وصف هوكنج لنظريته في هذا الكتاب هو مما يثير بعض التشوش. ولم أحسّ أني قد فهمت ما يقوله هوكنج وهارتل حقاً إلا بعد أن قرأت في مصادر أخرى وصفاً لهذه النظرية فيه تكنيكية أكثر. وبالإضافة فقد وجدت أن استخدام هوكنج لمفهوم «الزمان التخيلي» في كتابه فيه إمكان لتضليل غير المتخصص، لأنه لن يفرق بين معنى كلمة «تخيلي» في اللغة العادية وبين المفهوم الرياضي للعدد التخيلي الذي يختلف عن ذلك جد الاختلاف.

وهكذا فإن تفسيري لفرض هوكنج - هارتل سيبدو مختلفاً بعض الشيء عن التفسير الذي ورد في كتاب هوكنج. ولعل القارئ سوف يقرر أن وصفي هو المشوش، بينما وصف هوكنج هو الواضح لأكثر مما يكفي. على أني ينبغي أن أوضح أن وصفي مؤسّس على توصيفات لهذا الفرض نشرها هوكنج في مصادر أخرى، وأنه يمكن إذن أن يُعد وصفاً موثّقاً بما هو معقول.

ويبين هوكنج أننا لو تخيلنا أن الكون قد تم خلقه عند نقطة معينة من الزمان فسوف تظل هناك بعض أسئلة معينة بلا جواب. فإذا لم يكن الكون في البداية مفردة من كثافة لامتناهية، فلا بد أنه كانت له حالة بداية معينة. على أن قوانين الفيزياء لا تستطيع أن تخبرنا عن السبب في أنه ينبغي أن يكون على إحدى الحالات المعينة وليس على حالة أخرى. فالقوانين المعروفة تخبرنا فحسب عن كيفية تطور الكون بعد ذلك.

وهوكنج وهارتل، مثلهما مثل الكثيرين من الفيزيائيين، يفضلان الاعتقاد بأن قوانين الفيزياء هي في النهاية قادرة على تفسير أي شيء يمكننا أن نلاحظه. وبالتالي فقد حاولا أن ينظرا فيما إذا كان من الممكن تصور أن الكون ليس له بداية، وبهذا يمكن تجنب مشكلة الحال الابتدائي.

والآن فمن الواضح أن أحد السبل لفعل ذلك هو أن نتبع الاقتراح القديم لأرسطو، وأن نفترض أن الزمان يمتد وراء إلى ماضٍ لامتناه. على أن هذا في الواقع لا يحلّ أي شيء فمازلنا نجابه بمشكلة استحالة ذكر السبب في أن الكون ينبغي أن

يكون له بعض خواص معينة عند بعضِ زمنٍ معين. وحتى إذا كان هناك شيء ما يظل يجري أبدياً، فسنظل نحن راغبين في التساؤل عن الخواص التي كانت له في الماضي بحيث جعلته بما هو عليه الآن.

وهكذا فإن هوكنج وهارتل وضعا جانبا مشكلة الحال - الابتدائي، وبدلاً من ذلك فإنهما تساءلا عما قد يكون لميكانيكا الكم من تأثيرات على طبيعة المكان والزمان. ووجدا أنه عندما يكون عمر الكون صغيراً جداً، ويكون المكان مضغوطاً جداً، تكون لايقينيات الكم المصاحبة لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج قد أخذت في محو أوجه التميز بين المكان والزمان. وإذا رجعنا وراء بما يكفي، فإن الزمان قد يصبح «مُمَكّناً» Spatialized ولا يكون للكون بعد ثلاثة أبعاد للمكان وبعد واحد للزمان. وإنما على العكس، سيكون الكون شيئاً ما موجوداً في نوع من المكان له أربعة أبعاد.

والمكان ذو الأبعاد الأربعة يمكن أن ينحني على نفسه ليشكل سطحاً مقفلاً ليس له أحرف ولا حدود. وهذا فيه مثيل لسطح ذي بعدين ينغلق على نفسه ليشكل كرة، وهو أيضاً فيه مثيل لكون مغلق. ولكن ثمة فارق مهم، فكون آينشتين المغلق ليس له إلا ثلاثة أبعاد مكانية. وفي الكون المغلق، تنغلق أبعاد المكان الثلاثة أحدها على الآخر، بينما يظل الزمان شيئاً مشابهاً للخط المستقيم (ذات مرة قارن آينشتين هذا الكون بالاسطوانة)، ومن الناحية الأخرى، فإن كون هوكنج وهارتل تنغلق فيه أربعة أبعاد على نفسها وليس ثلاثة.

وهكذا فإن هذا الفرض، يمكن تلخيصه كالتالي: إذا ذهبنا وراء في الزمان بما يكفي، لن يعود هناك بعد أي زمان، وإنما سيكون هناك فحسب أربعة أبعاد شبه مكانية. وبالتالي فإن الكون ليس له بداية، لسبب بسيط هو أن الزمان لا يكون له بعد خاصيته كزمان. وهذه النظرية لا تتضارب مع أي حقائق معروفة، وهي تتوافق تماماً مع النموذج الانتفاخي. ويفترض أن الزمان أصبح كما نعرفه عند الوقت الذي بدأ فيه التمدد الانتفاخي.

وإذا كان كون هوكنج - هارتل لا بداية له، فإنه أيضاً بلا نهاية. فلا يوجد حد للزمان في المستقبل أيضاً، وذلك بسبب حدوث نفس الظاهرة بالضبط.

وإذا كان هذا الفرض صحيحاً، فإن الكون ينبغي أن يكون مغلقاً. فهو مما

يجب أن تكون له كثافة كتلة عالية بما يكفي لأن يتوقف تمدد الكون في النهاية، ليبدأ طور تقلص. وفي النهاية يصير الكون مضغوطاً جداً بحيث تصبح تأثيرات الكم مهمة مرة أخرى، وعندها فإن بعد الزمان يصبح شبه مكاني، ويصير للكون ثانية أربعة أبعاد مكانية بلا حرف وبلا حد.

ماذا يحدث بعد ذلك ؟ لا يوجد شيء من مثل «بعد ذلك» فهذا تعبير يشير إلى مرور الزمان. على أنه لن يكون هناك زمان، على الأقل بالمعنى الذي نفهم به المصطلح. والسؤال عما حدث قبل الانفجار الكبير، أو عما سيحدث بعد التقلص النهائي هو كما يقول هوكنج «مثل السؤال عن نقطة تبعد ميلاً إلى شمال القطب الشمالي».

شيء ما يخرج من لا شيء:

فكرة أن المكان والزمان قد يكونا بلا نهاية ومتناهيين هي كما يقر هوكنج نفسه، مجرد فرض فحسب، هو مما لا يمكن استنباطه من أي مبدأ آخر، وحيث إن الأمر هكذا فإن لنا الحرية في أن نتساءل عما إذا لم يكن من الجائز وجود طرق أخرى معقولة يمكن أن يبدأ بها الكون.

وأحد أبسط هذه الطرق هو فكره أن الكون ربما قد بدأ كتراوح كمي تم فيه تخلق بعض جسيمات تقديرية من الفضاء الخاوي. وهذا السيناريو التخليقي قد طرحه الفيزيائي إدوارد تريون في ١٩٧٣، وقد نوقش في الفصل الثاني فيما يتعلق بنموذج الكون الانتفاخي.

على أن فرض تريون هو في الحقيقة فرض مستقل عن نظريات الكون الانتفاخي. وفكرته الأساسية هي أنه إذا كان إجمالي محتوى الكون من الكتلة ـ الطاقة هو صفر (لنتذكر هنا أن إجمالي طاقة الجاذبية هو بالسالب)، فإن مبدأ عدم اليقين (لهايزنبرج) يخبرنا بأنه يمكنه أن يوجد لفترة لامتناهية من الزمان. ويصدق هذا سواء أكان هناك تمدد انتفاخي أم لم يكن.

وثمة تنويعات على فكرة تريون. وكمثل فإن أربعة فيزيائيين بلجيكيين، هم ر. بروت وب. انجليرت وإ. جونزج وب. سبندل، قد طرحوا في ١٩٧٨ أن الكون

ربما قد بدأ بتخليق زوج من جسيم ـ ضديد جسيم كل منهما له كتلة من 10^{19} جي ف. وما أن يوجد هذا الزوج من الجسيمات فائقة الثقل، حتى يحفز ذلك إنتاج الجسيمات الأخرى من المادة. وتستمر العملية فيما يفترض حتى يبدأ التمدد الانتفاخي، ليملأ الكون الذي يتمدد سريعاً بالمزيد من المادة والطاقة أيضاً.

وحدث بعدها في ١٩٨١ أن طرح فيزيائيان من جامعة روكفلر، هما هاينز باجلز ودافيد اتكاتز، أن الكون ربما قد بدأ ليس بتخليق زوج من الجسيمات، وإنما بتغير مفاجئ في خاصية أبعاد المكان. وحسب نظريتهما فإن المكان ـ الذي لا يحوي أصلاً أي مادة ـ يكون له بداية عدد كبير من الأبعاد. ويقول باجلز واتكاتز أن الكون ربما بدأ بتغير في حال الطاقة الكمية لهذا المكان. وهما يفترضان أن المكان ـ الزمان ربما حدث له «تبلّر» مفاجئ في الأبعاد العشرة التي في نظرية الأوتار الفائقة.

وفي ١٩٨٣ قام ألكس فيلينكين من جامعة تفتز بالتقدم خطوة أكثر إلى الأمام واقترح أن الفوضى الابتدائية التي تخلق منها الكون لم يكن لها حتى خاصية الأبعاد المحددة. وحسب نظرية فيلينكين، فإن نفس مفهوم خاصية الأبعاد للمكان ـ الزمان لم يصبح له معنى إلا بعد أن ظهر الكون للوجود.

وعلى نحو ما، فإن كل هذه النظريات فيها ما يذكر بأسطورة للخلق موجودة في عدد من الحضارات المختلفة في الشرط الأوسط القديم. وحسب هذه الأسطورة فإن الكون عند تخليقه، لا يخرج من لا شيء، وإنما يخرج من نوع من فوضى بلا شكل. ونجد أصداء لهذه الأسطورة في الفقرة الثانية من الإصحاح الأول للتكوين حيث نقرأ، «وكانت الأرض بلا شكل* وخالية، وعلى وجه القمر ظلمة». وأنا بالطبع لست أطرح أن في التكوين أو الأساطير القديمة أي هواجس مسبقة تتعلق بالفيزياء الحديثة. إلا أن من الشيّق أن فكرة الخلق الخارج من فوضى بدائية تعاد الآن ولادتها فجأة في شكل جديد.

* في النسخة العربية للعهد القديم «وكانت الأرض خربة وخالية». (المترجم)

أكوان تتوالد ذاتياً:

النظريات التي أوجزتها عاليه فيها تخمين بالغ. وواضعو هذه النظريات لم يحاولوا أي محاولة لأن يظهروا الكون وقد اندفع «بالفعل» إلى الوجود خارجاً من لا شيء، كما أنهم لم يبرهنوا على أن الكون «يمكن أن يكون» قد أتى إلى الوجود على هذا النحو. ولا أحد يعلم حقاً إن كانت قوانين الطبيعة تسمح بأن تتخلق الأكوان على هذا النحو أم لا. وكل ما بُرهن عليه حقاً هو أنه لا يوجد هناك جبلياً أي شيء غير معقول بشأن هذه الفكرة. وبكلمات أخرى فنحن نعرف أقل القليل عن أصل الكون بحيث لا يمكن لأحد أن يقول إنه «لم» يتخلق على هذا النحو.

ومادمنا قد وصلنا بالتخمين بعيداً هكذا، فليس ما يمنع من التقدم لما هو أبعد قليلاً، لنسأل عن عدد الأكوان الموجودة. فهل يوجد كون واحد فقط ؟ أو أنه توجد أكوان كثيرة، بل وربما عدد لانهائي منها ؟ وليس في هذا ما يبدو جلياً أنه أمر غير معقول، وإذا كان قد أمكن تخليق الكون ذات مرة، فإن هذا الحدث يمكن فيما يفترض أن يتكرر وقوعه مرات كثيرة.

على أن التحدث عن أكوان كثيرة يبدو كأمر غير منطقي بعض الشيء، حيث إن كلمة «كون» تستخدم عامة للإشارة إلى كل ما هو موجود. ولعلّ من الأفضل إذن قبل أن أواصل الحديث، أن أطرح مصطلحاً ما جديداً حتى لا تنشأ مشاكل بشأن دلالات الألفاظ. ومن الآن فصاعداً، سوف أستخدم كلمة «الكون» لتعني منطقة من المكان ـ الزمان مكتفية بذاتها، مثل الكون الذي نعيش فيه. أما إذا احتجت لكلمة توصف مجموعة الأكوان كلها التي قد تكوّن كل الواقع، فسوف أستخدم بدلاً من ذلك كلمة كوزموس Cosmos.

وإذا كان تخليق الكون حدثاً يتكرر وقوعه مرة بعد أخرى، فإن ذلك يمكن أن يحدث بطريقتين مختلفتين. فقد يتخلق الكون في مكان ـ زمان لا صلة له بالأمكنة ـ الأزمنة التي للأكوان الأخرى الموجودة. أما البديل الآخر، فهو أن الأكوان الجديدة يمكن أن تتخلق خارجة من الفضاء الخاوي الذي في الداخل من أكوان موجودة من قبل. وبكلمات أخرى فإن الأكوان يمكن أن تتوالد ذاتياً.

ولو كانت الأكوان تتخلق في أماكن ـ أزمنة مستقلة، وليس لها علاقة قط أحدها بالآخر، فإننا لن نتمكن أبداً من معرفة ما إذا كان يوجد أو لا يوجد أكوان

أخرى غير كوننا الخاص بنا. بل إننا لن نستطيع أن نقول «أين» تكون إن كانت موجودة. وعلى كل، فإن كلمة «أين» تشير إلى موضع المكان ـ الزمان، والأمكنة ـ الأزمنة الخاصة بهذه الأكوان الأخرى لن تكون لها صلة بالمكان ـ الزمان الخاص بكوننا. بل ويمكن هنا أن نتساءل عما إذا كان هناك فلسفياً أي معنى لأن نتحدث عن «وجود» أكوان كهذه. وإذا كان شيء ما من حيث المبدأ، لا يمكن أبداً أن يلاحظ، هل نستطيع حقاً أن نقول إنه «موجود» ؟.

وفكرة أن الأكوان قد تتوالد ذاتها، وأنها قد تبدأ كتراوحات كمية في أكوان موجودة من قبل، هي فيما يبدو الفرض الأخصب كثيراً، حيث إنه فرض يمكن بسهولة أن تكون له نتائجه الملحوظة. وقد تكون هناك طريقة ما تمكننا من رؤية الأكوان وهي تولد.

والأكوان المتوالدة يجب فيما يفترض أن تكون مغلقة. أو على الأقل فسيكون من الصعب تصور خلق كون مفتوح لامتناه من داخل واحد موجود من قبل. ولكن إذا كانت الأكوان تتوالد، أفلا نتوقع أن نرى أكواناً تتخلق من داخل كوننا ؟ ألن يحدث أن كوناً يتخلق من داخل كوننا ويتمدد سريعاً ينتهي به الأمر إلى أن يبتلعنا؟. ويبدو أن الإجابة عن هذه الأسئلة هي لا. وتتضمن نظرية آينشتين عن النسبية العامة أن كوناً كهذا، عندما يُرى من الداخل، قد يبدو كأنه يتمدد سريعاً، إلا أنه عندما يرى من الخارج يظهر كجرم يشبه كثيراً الثقب الأسود.

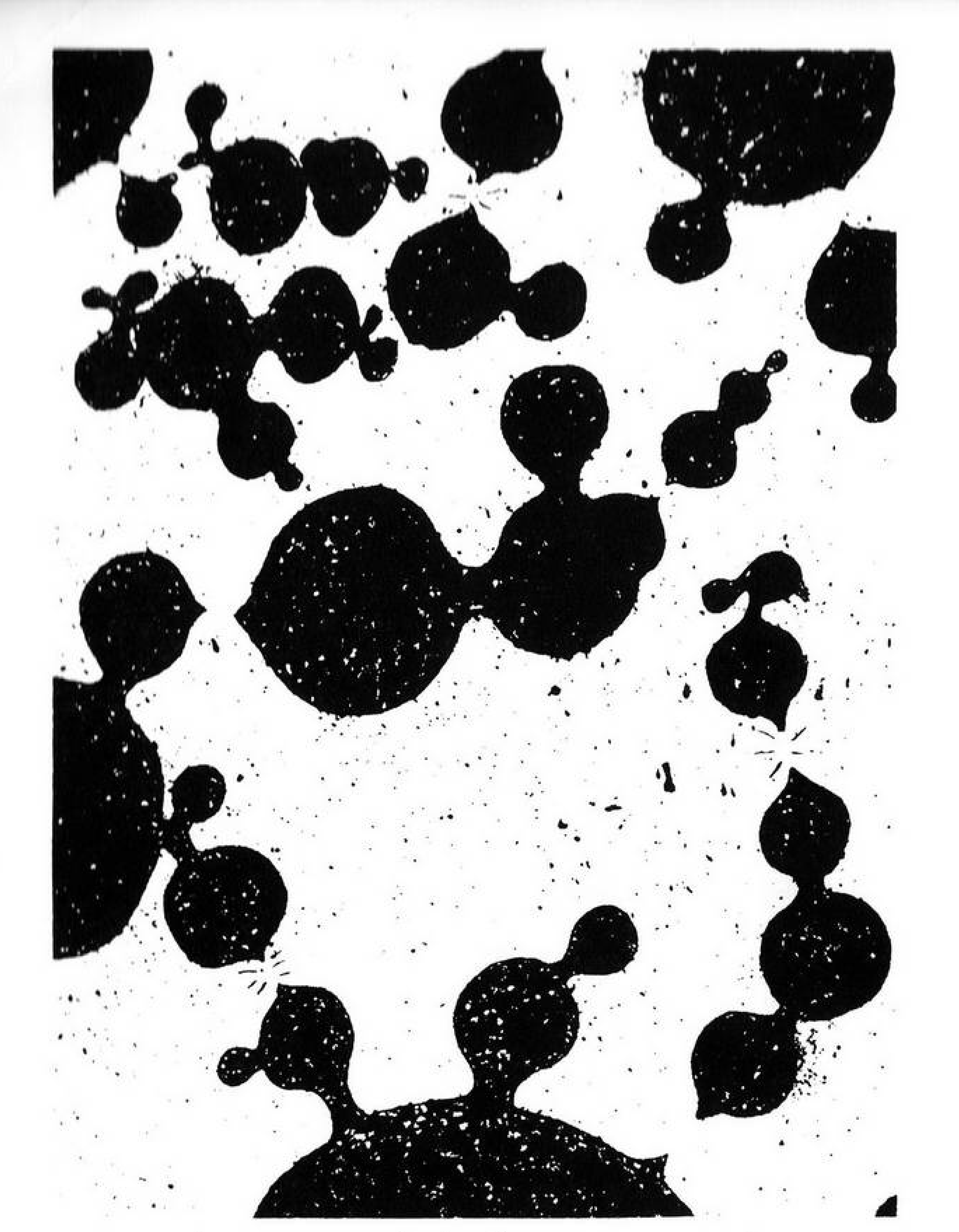
والحقيقة أننا ربما نلاحظ أن الكون المغلق هو بمعنى ما يشبه كثيراً جداً الثقب الأسود، الذي هو جدّ ثقيل ومنضغط، وله جاذبية جد قوية بحث لا يستطيع أي شيء الفرار منه حتى ولا الضوء. وكذلك أيضاً فإنه ما من شيء يستطيع الفرار من الكون المغلق، وإذا كان كوننا مغلقاً، فإنه يمكننا أن نفكر فيه على أنه ثقب أسود من داخل كون ما أكبر، هو بدوره يمكن أن يكون مطموراً في كون آخر أيضاً.

وعلى كل، فإنه إذا كانت الأكوان تتوالد ذاتياً بالفعل، فإن الكون الذي يتخلق حديثاً لن يبقى بالضرورة من داخل الكون الأب له. وكمثل فإن أحد الأكوان إذا يتخلق في كوننا ربما سيفلت «منفصلاً» عن المكان ـ الزمان الخاص بنا ليختفي. وقد يبقى الكونان متصلين للحظة وجيزة من الزمن بخيط رفيع من المكان ـ الزمان يسمى الثقب الدودي، لا يلبث أن يتلاشى سريعاً.

وفكرة الأكوان التي تتوالد ذاتياً قد وسع منها الفيزيائي الروسي أندريا ليند في نظريته عن الكون الانتفاخي الفوضوي. وليند يبني نظريته على النظريات الانتفاخية السابقة، ويخمن أن التمددات الانتفاخية تظهر للوجود باستمرار في أكوان عديدة تتوالد ذاتياً. والنظام الانتفاخي في بعض هذه الأكوان لا يصل قط إلى نهاية؛ فهي تواصل للأبد التمدد بهذا المعدل السريع سرعة خيالية. أما في الأكوان الأخرى مثل «كوننا» فإن سرعة التمدد تقل إلى معدل أشد بطئاً مثل معدل السرعة التي يرصدها الفلكيون الآن. وهناك أكوان انتفاخية جديدة تتخلق طول الوقت من داخل الأكوان الموجودة من قبل. وبعد أن تتخلق فإنها سرعان ما تنمو كبرعم ينفصل ثم إنها تلد بعدها أكواناً خاصة بها.

وبعض الأكوان في سيناريو ليند، قد تدخل في النهاية في طور من التقلص، ثم تنتهي بأن تمحق نفسها مختفية من الوجود في انسحاق كبير. وعلى كل، فحيث إن أي كون واحد يمكن أن يلد أكواناً عديدة أخرى، فإن الكوزموس سيتواصل أبداً. وكوننا قد لا يكون أبدياً ولكن الكوزموس أبدي.

ولنظرية ليند دلالة أخرى شيقة جداً. فلا يوجد حقاً أي سبب يدعو لأن تكون قوانين الطبيعة هي نفسها في كل الأكوان، ولا حتى خاصية أبعاد المكان تكون كذلك. ومن الجائز إمكان وجود نوع من «شفرة وراثية» تسبب أن تكون الأكوان الأبناء مشابهة لآبائها. بل إنه في هذه الحالة يمكن فيما يفترض أن توجد «طفرات». وكمثل فإن كوننا يمكن أن يكون سلالة طافرة من كون فيه قوانين للفيزياء مختلفة فحسب بما يكفي لاستحالة تخليق الحياة.



أكوان تتوالد ذاتياً. قد يحوي الكوزموس عدداً كبيراً جداً من أكوان منفصلة ذاتياً، وهو عدد قد يكون لانهائياً. وبالإضافة فإن من الممكن أن تتوالد هذه الأكوان ذاتياً بنوع من عملية «تبرعم». وفي هذا الشكل مجموعة من الأكوان تتوالد على هذا النحو بالضبط. وبعد أن تتشكل الأكوان الأبناء وتبدأ في ممارسة تمددات انتفاخية، فإنها قد تنفصل وتقطع كل صلة لها بالأكوان الآباء. وهذا الفرض عن الأكوان التي تتوالد ذاتياً هو بالطبع تخمين بالغ. ولا يوجد برهان يدل على أن عملية كهذه تقع بالفعل في الطبيعة.

ولعلك تعتقد أن تخميناً من هذا النوع قد «تجاوز الحد كثيراً» بحيث لا يمكن أن تكون له أي علاقة بالواقع. على أن الأمر قد لا يكون هكذا. والحقيقة أن وجود أكوان أخرى يمكن أن يكون له دلالات مهمة. وكمثل، لنفرض أن الفيزيائيين قد أثبتوا أن نظرية الأوتار الفائقة صحيحة، وأنها لا تحدد منفردة كل ما يلاحظ من قوانين الفيزياء. ففي هذه الحالة سيمكن لها أن تظل «كنظرية لكل شيء»، ولكنها نظرية تسمح بالعديد من الإمكانات المختلفة. وبالإضافة، فقد يثبت في النهاية أن شتى هذه الإمكانات المختلفة تتحقق كلها في أحد الأكوان أو الآخر.

آينشتين وخطؤه الفادح:

عندما نشر ألبرت آينشتين نظريته عن النسبية العامة في ١٩١٦، فإنه أعطى للعالم مجموعة من المعادلات توصّف تأثرات عمل الجاذبية وانحناء المكان. وكان آينشتين مشغولاً في أول الأمر باستنباط نظرية تبين كيف تعمل الجاذبية، ومن الواضح أنه أمكن بعد ذلك استنتاج أمور أخرى مثل التضمينات التي في نظريته بشأن فهم بنية الكون.

وبعد نشر النظرية، شرع آينشتين في العمل للبحث عن حلول لمعادلاته توصّف الكون كله، ولكنه سرعان ما تبين أن نظريته تنطوي فيما يبدو على أن الكون يجب أن يكون إما كوناً يتمدد أو كوناً يتقلص. وعندما توصل آينشتين إلى هذه النتيجة أصابه الانزعاج، ذلك أنه في عام ١٩١٦ لم يكن أحد قد سمع قط عن كون يتمدد. وكان يفترض دائماً أن الكون ساكن. وفيما يتعلق بذلك، فإن معظم الفلكيين في ذلك الوقت كانوا مازالوا يؤمنون بأن مجرتنا درب التبانة «هي» الكون.

وإذ اعتقد آينشتين أنه يجب عليه أن يجد حلاً يتوافق مع كون ساكن، فإنه أخذ يبحث عن طريقة لإصلاح نظريته. ولم يستغرق زمناً طويلاً للعثور على الحل. فقد لاحظ أن نظريته تسمح بإدخال مقدار أطلق عليه الثابت الكوني، وهو مقدار يمكن أن يكون موجباً أو سالباً أو صفراً. ولاحظ آينشتين أنه لو افترض أن هذا الثابت هو بالضبط بالقدر المناسب، فإنه سينتج عن ذلك كون ساكن.

وفرض آينشتين الخاص بالثابت الكوني يعادل افتراض أن ثمة نوعاً من قوة

تنافرية مضادة للجاذبية موجودة في الكون، وأن هذه القوة تستطيع أن تعادل من شد الجاذبية على المسافات الكبيرة. ولم يحدث قط أن رصدت أي قوة من هذا النوع، على أن هذا ليس بحجة ضد وجودها حقاً. وعلى كل، فإن النظرية تتضمن أن المكان منحنٍ، وما من أحد أيضاً قد رصد بعد مكاناً منحنياً.

وفي ١٩١٧، نشر آينشتين ورقة بحث وصف فيها تصوره للكون. وطرح فيها أن الكون مغلق ومتناه. وبالإضافة فإن القوة الكونية المضادة للجاذبية تستطيع أن تضمن أنه يحتفظ دائماً بنفس الأبعاد.

وقد ثبت خطأ ورقة بحث آينشتين من وجهتين. ففي المكان الأول، ثبت أن افتراض سكون هذا الكون هو خطأ فادح. وسرعان ما بين العلماء الآخرون أن كون آينشتين غير مستقر. والثابت الكوني هو والجاذبية لا يمكن أن يعادل أحدهما الآخر إلا لو كانت أبعاد الكون مضبوطة انضباطاً دقيقاً. ولو تمدد الكون بقدر هين لا غير فستضعف الجاذبية قليلاً، وتصبح القوة التنافرية مسيطرة، ويكبر الكون ويكبر. ومن الناحية الأخرى فإن أقل تقلص للكون سيجعل اليد العليا للجاذبية، وسوف يستمر التقلص بلا توان، بل هو في الحقيقة سيزداد إذ تصبح المادة أكثر انضغاطاً وتزيد قوة الجاذبية باطراد. وبكلمات أخرى، فإن كون آينشتين هو مثل قلم يقف متزناً على سنه: وهو لا يستطيع أن يظل ساكناً لأنه سوف يقع سريعاً بطريقة أو أخرى. وبعد نشر بحث آينشتين باثني عشر عاماً تمت البرهنة على أن الكون ليس ساكناً على الإطلاق. فقد أعلن هابل في ١٩٢٩ اكتشافه بأن الكون يتمدد.

هذا وقد أشار آينشتين فيما بعد إلى أن إدخاله للثابت الكوني هو «أعظم خطأ فادح في حياتي». على أن الفلكيين في أيامنا هذه ليسوا واثقين تماماً من أن هذا كان خطأ. ويعتقد الكثيرون منهم أنه ينبغي أن نترك هذا الثابت باقياً في معادلات آينشتين. وبالإضافة، فإنهم يشعرون أنه لو ثبت في النهاية أن هذا الثابت هو صفر فإن هذه الحقيقة هي التي ينبغي أن تفسر، فالقيمة التي تكون صفراً بالضبط هي حقاً مما يثير الدهشة.

وإدخال الثابت الكوني له ما يشبهه في الكثير من نظريات الفيزياء. فعندما يستنبط العلماء النظريات رياضياً، فإنهم كثيراً ما يجدون أن أرقاماً معينة، تدعى

ثوابت التكامل يمكن أن تضاف على نحو طبيعي. والحقيقة، أنه في معظم الأحوال يكون من الخطأ أن ننبذ بعيداً هذه الثوابت: فبإدخالها تصبح النظرية أكثر شمولاً؛ وبدون إدخالها، تصبح النظرية عادة مما لا يمكن استخدامه إلا في حالات خاصة.

تضارب من $١٠^{١٢٠}$:

ولعلك سوف تعتقد أن الفلكيين والفيزيائيين قد استنتجوا أن المسألة قد انتهت إلى مرحلة الاستقرار، وأن في إمكاننا أن نستنتج أن الثابت الكوني هو صفر، وأن نسقطه من معادلات النسبية العامة. ولسوء الحظ، ليس في الإمكان فعل ذلك بسهولة هكذا، ذلك أنه توجد أسباب نظرية للاعتقاد بأن الثابت الكوني ينبغي أن يكون كبيراً حقاً. والحقيقة أنه ينبغي أن يكون كبيراً جداً، وأن تكون القوة الناتجة كبيرة جداً، بحيث إن الكون كله كان ينبغي منذ زمن طويل أن يلتف على نفسه في كرة دقيقة الصغر ذات قطر أصغر من قطر الذرة.

وكما رأينا، فإنه كان علينا أن نصدق نظريات مجال الكم مثل نظرية الإلكتروديناميكا الكمية وديناميكا اللون الكمية، فإن الفضاء «الخاوي» لا يكون خاوياً قط في الحقيقة، وإنما هو على العكس مليء بنشاط فائر. «فخواء» الفراغ مليء بمجالات كمية وبمقادير هائلة من الجسيمات التقديرية التي يتواصل خلقها وتدميرها.

وبالإضافة، فإن هناك طاقة تصاحب كل هذا النشاط ويمكن حسابها. وعندما تجرى الحسابات، فإنه يثبت في النهاية أن الطاقة - الذاتية للفراغ هي طاقة هائلة. وحيث إن الطاقة والكتلة متكافئتان، فإن هذه الطاقة ينبغي أن يكون لها تأثيرات جاذبية لها أهميتها. والحقيقة أن طاقة الفراغ هذه ينبغي أن تخلق قوة تشبه تماماً تلك التي تصاحب الثابت الكوني. ورغم أنها ذات طبيعة جذبوية، فإنها لن تتغير بتغير المسافة، كما تفعل ذلك مثلاً قوة الجذب لأحد المجرات، وذلك لأن الفضاء «الخاوي» موجود في كل مكان.

وهناك بالإضافة إلى ذلك مشكلة يجدها علماء الكونيات جد مربكة، وهي أن هذه القوة ينبغي أن تكون أكبر بحوالي $١٠^{١٢٠}$ مثلاً من أقصى قوة كونية تتوافق مع الملاحظات. فطاقة الفراغ ينبغي أن تخلق ثابتاً كونياً كبيراً جداً بحيث كان

ينبغي ألا يتمكن الكون قط من أن يتمدد بما يتجاوز أبعاداً ميكروسكوبية.

وهناك إسهامات عديدة مختلفة بالنسبة لكثافة طاقة الفراغ النظرية. وأحد هذه الإسهامات هي الجسيمات التقديرية التي تتنبأ بها النظريات التي تصنع النموذج المعياري، بل إن المجالات المصاحبة لجسيمات هيجز الافتراضية تسهم إسهاماً أكبر. وإذا كان هناك وجود لجسيمات أولية لم يتم اكتشافها بعد، فإنها سيكون لها إسهامها أيضاً.

قياس الثابت:

الثابت الكوني لا يمكن إخراجه من معادلات النسبية العامة على أسس «بديهية»، فالممارسة الرياضية التقليدية تتطلب الاحتفاظ به. وبالإضافة فينبغي ألا نجعله مساوياً للصفر إلا إذا تم قياسه ووجد أنه صفر. فالفيزياء علم تجريبي، ومثل هذه المقادير ينبغي أن تحدد تجريبياً.

ولا يعني هذا أنه ينبغي على العلماء إقامة أجهزة لتقيس قوى الجذب أو التنافر الدقيقة الصغر (يمكن وجود أي من النوعين حسبما يكون الثابت سالباً أو موجباً) التي تبعث من مناطق بعيدة في الكون. فالشد الجذبوي للأجرام البعيدة لا يمكن قياسه بطريقة مباشرة، كما لا يمكن أيضاً رصد القوة الكونية.

على أنه إذا كان هناك وجود لثابت كوني قيمته ليست صفراً، فإنه ينبغي أن يؤثر في حركات المجرات البعيدة. والثابت الموجب، الذي يطابق قوة تنافرية، سوف ينزع إلى أن يجعل المجرات تتحرك مبتعدة إحداها عن الأخرى بسرعة أكبر، أما الثابت السالب فهو يطابق قوة جذبوية ستبطئ من سرعة تمدد الكون. وبالإضافة، فإن هذه التأثيرات ستكون مما يمكن تمييزه عن قوى الجاذبية الناجمة عن المادة التي في الكون. ويصدق هذا حتى في الحالة التي ينتج فيها الثابت السالب قوة جذبوية. فالجاذبية تصبح أضعف عندما يكون الجرم المنجذب أكثر بعداً. أما القوة الكونية فلا تعتمد على مسافة البعد. وهكذا فإن القوتين ينبغي أن ينتج عن كل منهما نوع مختلف من تأثيرات «الكبح» لتمدد الكون. وبالإضافة، فإنه ينبغي أن يكون في الإمكان تمييز إحداهما عن الأخرى.

وكما سبق أن وضّحت عدة مرات حتى الآن، فإن الفلكيين حين يدرسون مجرات بعيدة ببلايين السنين الضوئية، ينظرون عند ذلك أيضاً وراء في الماضي ببلايين السنين. وهكذا فإنهم يستطيعون أن يقارنوا سرعة تمدد الكون في العهود الماضية بسرعة التمدد المرصودة الآن، وأن يقرروا ما إذا كان يمكن للجاذبية وحدها أن تكون هي السبب في التغيرات التي حدثت.

وقد تم إجراء مسح للمجرات حتى مسافات تبعد ١٠ بلايين سنة ضوئية، ولم يعثر قط على أي دليل على وجود ثابت كوني. وإذا كان هناك وجود لهذا الثابت فإنه سيكون صغيراً جداً بحيث لا يكون له أي تأثيرات يمكن إدراكها طوال العشرة بلايين سنة الأخيرة. وكلما زاد عدد أنواع الجسيمات المختلفة، زاد تعدد الجسيمات التقديرية التي يمكن تخليقها، وكل نوع إضافي من الجسيمات التقديرية سيؤدي إلى أن تزيد طاقة الفراغ أيضاً بأكثر.

ولما كان من غير المعروف ما هي الجسيمات التي ستكتشف في المستقبل أو كيف تم تعديل النموذج المعياري، فإن طاقة الفراغ لا يمكن حسابها بدقة، وإن كان من المستطاع تقدير الحد الأدنى لها. وتدل هذه التقديرات على أنها ينبغي نظرياً أن تكون على الأقل أكبر بقدر ١٠^١٢٠ مثل عن أقصى قيمة تتوافق مع الملاحظات. وحتى لو تجاهلنا كل جسيمات ومجالات الكم فيما عدا تلك التي تصاحب القوة القوية والكواركات، فإن هذه القيمة النظرية التي تم الحصول عليها لاتزال أكبر كثيراً مما ينبغي. وإذا كانت الكواركات والجلونات هي الجسيمات الوحيدة التي لها وجود، فإن كثافة طاقة الفراغ ستظل كبيرة جداً بعامل ١٠^٤١. ورغم أن هذا يبدو أفضل من ١٠^١٢٠، إلا أنه لا يمكن القول بإنه هكذا ينتج عنه اتفاق النظرية مع الملاحظة - ذلك أن ١٠^٤١ هي مائة ألف بليون بليون بليون بليون.

لماذا هناك لاشيء بدلاً من شيء ما:

من الطبيعي أنه قد بذلت المحاولات لمعالجة هذا التضارب. وفي الحقيقة، فقد نشر الفيزيائي سيدني كولمان بجامعة هارفارد ورقة بحث في ١٩٨٨ عنوانها «لماذا هناك لاشيء بدلاً من شيء ما»، وقد أثارت ورقته هذه كل الضجة داخل مجتمع الفيزياء النظرية. ويطرح كولمان في هذا البحث فرضاً يبدو أن له القدرة على تفسير

السبب في أن الثابت الكوني المرصود ينبغي أن يكون صفراً. ورغم أن فكرة كولمان هي حدس ليس إلا، غير أنها على الأقل قد وفّرت تفسيراً معقولاً حيث لم يكن يوجد أي تفسير من قبل.

وقبل أن أشرح ما حدسه كولمان، من الضروري أن أستطرد قليلاً، وأن أعلّق على بعض التخمينات الحديثة لستيفن هوكنج. وكتاب «تاريخ موجز للزمان» الذي ألفه هوكنج يغطي أبحاثه حتى حوالي ١٩٨٥ فقط، وقت انتهاء المسودة الأولى. وكنتيجة لذلك، فإنه لا يذكر فيه بعض أبحاثه النظرية الأحدث.

وبعض هذه الأبحاث يتعلق بمفهوم توالد الأكوان الذي ناقشناه من قبل في هذا الفصل. وبالتحديد، فإن هوكنج أجرى أبحاثاً نظرية عن التأثيرات الممكنة للثقوب الدودية التي قد تصل الأكوان الطفلة* المتخلقة حديثاً بكوننا نحن.

ومن حيث المبدأ، قد تكون هذه الثقوب الدودية من أي حجم. على أنه من غير المحتمل نسبياً أن يوجد منها ما يكون قطره أكبر كثيراً جداً من حوالي ١٠^-٣٣ سنتيمتر. والآن، فإن ١٠^-٣٣ سنتيمتراً هي أصغر من قطر البروتون بما يقرب من ١٠^٢٠ مرة. وكما أننا لا نستطيع أن نرى الوتر الفائق (الذي يفترض أن له حجماً مماثلاً تقريباً) فإننا أيضاً لا نستطيع ملاحظة هذا الثقب الدودي، ولو أمكن ملاحظة هذا الثقب الدودي فإننا لن نراه لزمن طويل. فهو يندفع للوجود ثم يختفي ثانية في زمن يقرب من ١٠^-٤٣ ثانية.

وليس مما يترتب على ذلك بالضرورة أن يكون وجود هذه الثقوب الدودية بلا تأثيرات يمكن ملاحظتها. وحسب هوكنج، فإن هذه التأثيرات يمكن حقاً أن تكون تأثيرات درامية. ويبدأ هوكنج بملاحظة أنه من آن لآخر سوف يحدث أن أحد الجسيمات، كالإلكترون مثلاً، سيختفي من كوننا لداخل ثقب دودي كهذا، بينما يخرج من الثقب جسيم مماثل يأتي من كون آخر.

ووجوب أن يخرج جسيم مماثل من الثقب الدودي هو أمر يترتب على قوانين أساسية معينة للفيزياء تتطلب استمرار بقاء المقادير التي من مثل مقدار الكتلة

* الكون الطفل Baby universe كلمات تبدو وكأنها من «طريف» العامية. ورغم ذلك، فهي في الواقع ليست هكذا، والحقيقة أنها أصبحت بسرعة جزءاً من المصطلحات العلمية المقبولة.

والشحنة الكهربائية . وما لم يظهر دليل قاطع على عكس ذلك، فإننا ينبغي أن نفترض التقيد بهذه القوانين سواء كان كوننا متصلاً بأكوان أخرى أم لم يكن. وعلى أي حال فإنه ما من أحد قد لاحظ قط أن إلكتروناً واحداً قد ظهر فجأة أو اختفى فجأة.

ويتصور هوكنج أن كوننا مليء بأعداد فلكية من الثقوب الدودية التي تتناوب الدخول إلى الوجود والخروج منه على نحو متصل. وهكذا فإن الجسيمات التي تصنع عالمنا تتساقط باستمرار في ثقوب دودية لا نراها أبداً، بينما يحل محلها جسيمات من أكوان أخرى. ونحن بالطبع لا نحس قط أن شيئاً من هذا يحدث. وبقدر ما يخصنا، فإن الجسيمات تواصل السلوك وكأن هذه الأكوان الأخرى لا وجود لها. فلا يمكن أن يتغير المسار المنحني للإلكترون* عندما يتبادل مكانه مع شريكه من الكون البديل، ذلك أن هذا سينتهك قوانين فيزيائية أخرى راسخة، هي قوانين بقاء الطاقة وبقاء كمية الحركة.

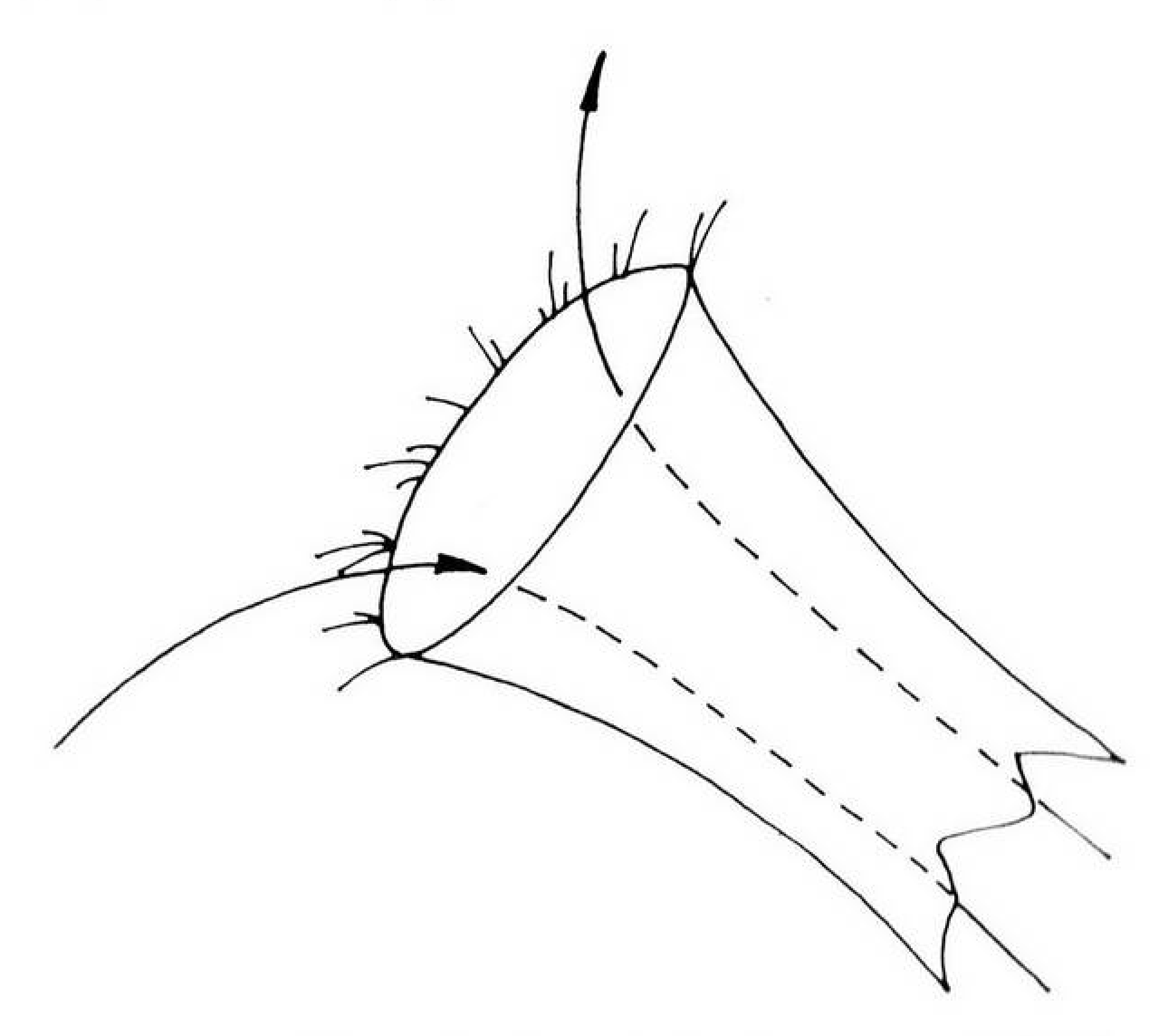
ولو أن تبادلات الجسيمات هذه ليس لها أية تأثيرات ملحوظة، لكان الحديث عنها مما لا معنى له، ذلك أن الفيزياء ليست بالعلم الذي يتناول ظواهر لا نستطيع رؤيتها، أو تأثيرات لا نستطيع قياسها. على أن هوكنج لا يقول إن هذه التبادلات ليس لها أي تأثيرات. فهو على العكس، يطرح أنها قد تؤثر في قياساتنا لكتلة الإلكترون وكتل الجسيمات الأخرى أيضاً. وهو يشير إلى أنه إذا كان يمكن للجسيمات أن تختفي لداخل الثقوب الدودية وأن تخرج منها، فسيبدو إذن أن لها كتلاً أكبر من كتل الجسيمات التي تبقى دائماً في نفس الكون. وبالإضافة، فإن هذا التبادل عند الثقوب الدودية يمكن أن يكون له أيضاً تأثيرات مماثلة على شحنة الجسيم عند ملاحظتها.

وما أن أثبت هوكنج هذه النتيجة، حتى واصل طريقه طارحاً أن الثقوب الدودية قد تكون مسؤولة عن «كل» كتل الجسيمات. وطرح بالإضافة إلى ذلك أن

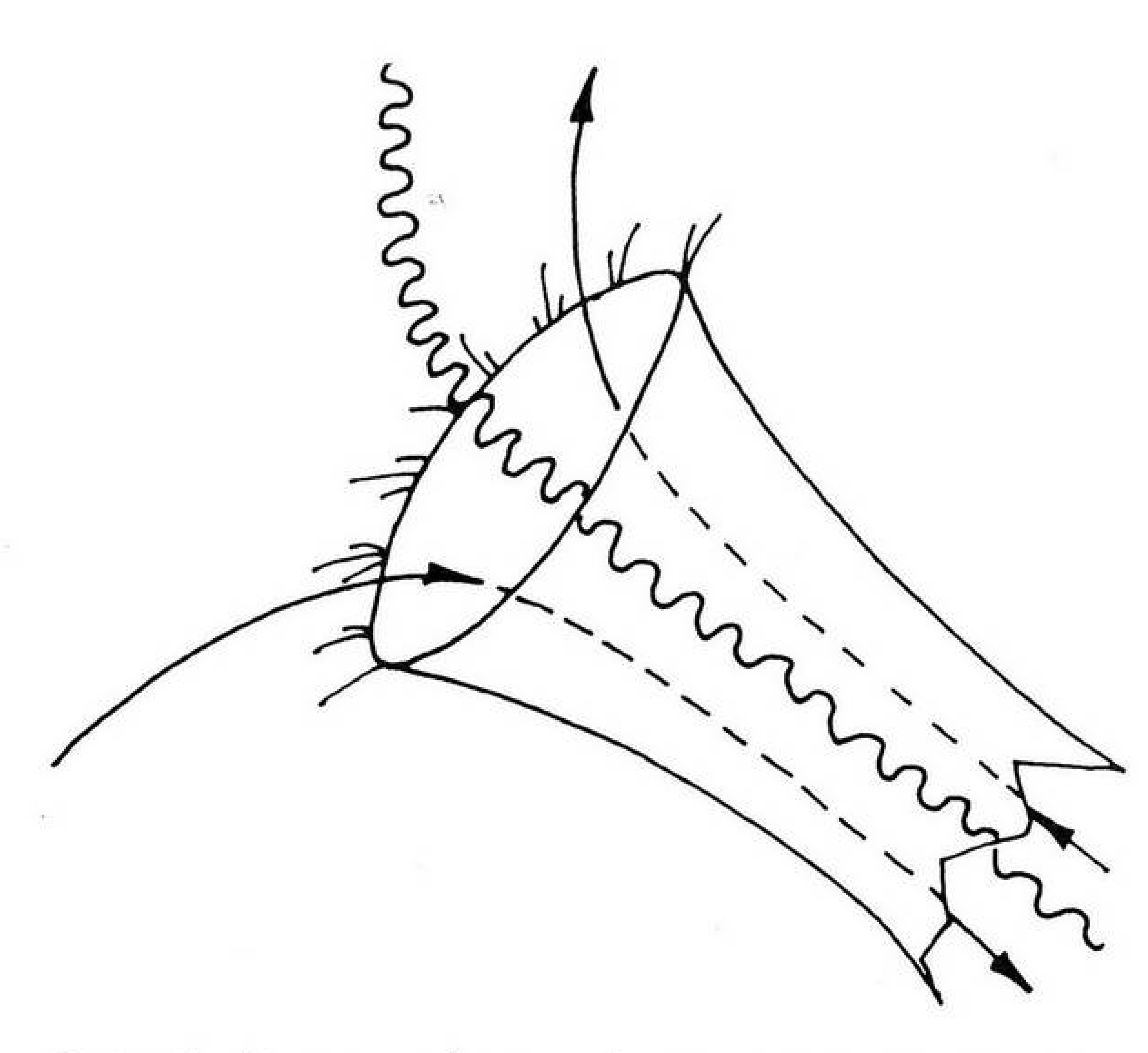
* إذا تحرينا الدقة في الحديث، فإن عدم التحدد الذي يصاحب مبدأ هايزنبرج بعدم اليقين يمنعنا من أن نتحدث عن «مسار منحن» وسيكون من الأدق أن نقول ببساطة إن السلوك الظاهري للإلكترون لا يتغير.

هذه الثقوب الدودية ربما تلعب دوراً في كل العمليات التي يبدو فيها تفاعل لأحد الجسيمات مع الآخر. وكمثل، فعندما يختفي إلكترون، وفوتون تقديري معاً داخل ثقب دودي، سيكون تأثير ذلك وكأن الفوتون (حامل القوة) قد تم امتصاصه بواسطة الإلكترون.

على أنه عند هذه النقطة تبدو نظرية هوكنج وقد أصابتها المتاعب، ذلك أن الحسابات التفصيلية تتنبأ فيما يبدو بأن الثقوب الدودية ستنتج كتلاً للجسيمات هي أكبر بما يقرب من 10^{20} مثلاً من كتلة البروتون. وكما يبدو، فإن فرض هوكنج الخيالي، وإن كان فرضاً جذاباً، إلا أنه يعطي نتيجة لامعقولة. وعلى الأقل، فلربما كان الفيزيائيون سيصلون إلى هذا الاستنتاج في وقت سالف. وعلى كل



أصل الكتلة؟ حسب فرض هوكنج، فإن الجسيمات تحت الذرية مثل الإلكترونات ربما تختفي باستمرار داخل ثقوب دودية لتنتقل إلى أكوان أخرى. وفي هذا الشكل يدخل إلكترون إلى أحد الثقوب الدودية بينما يغادره جسيم مماثل ليدخل إلى كوننا. وحسب هوكنج، من الممكن أن تكتسب الإلكترونات كتلة من هذه العملية.

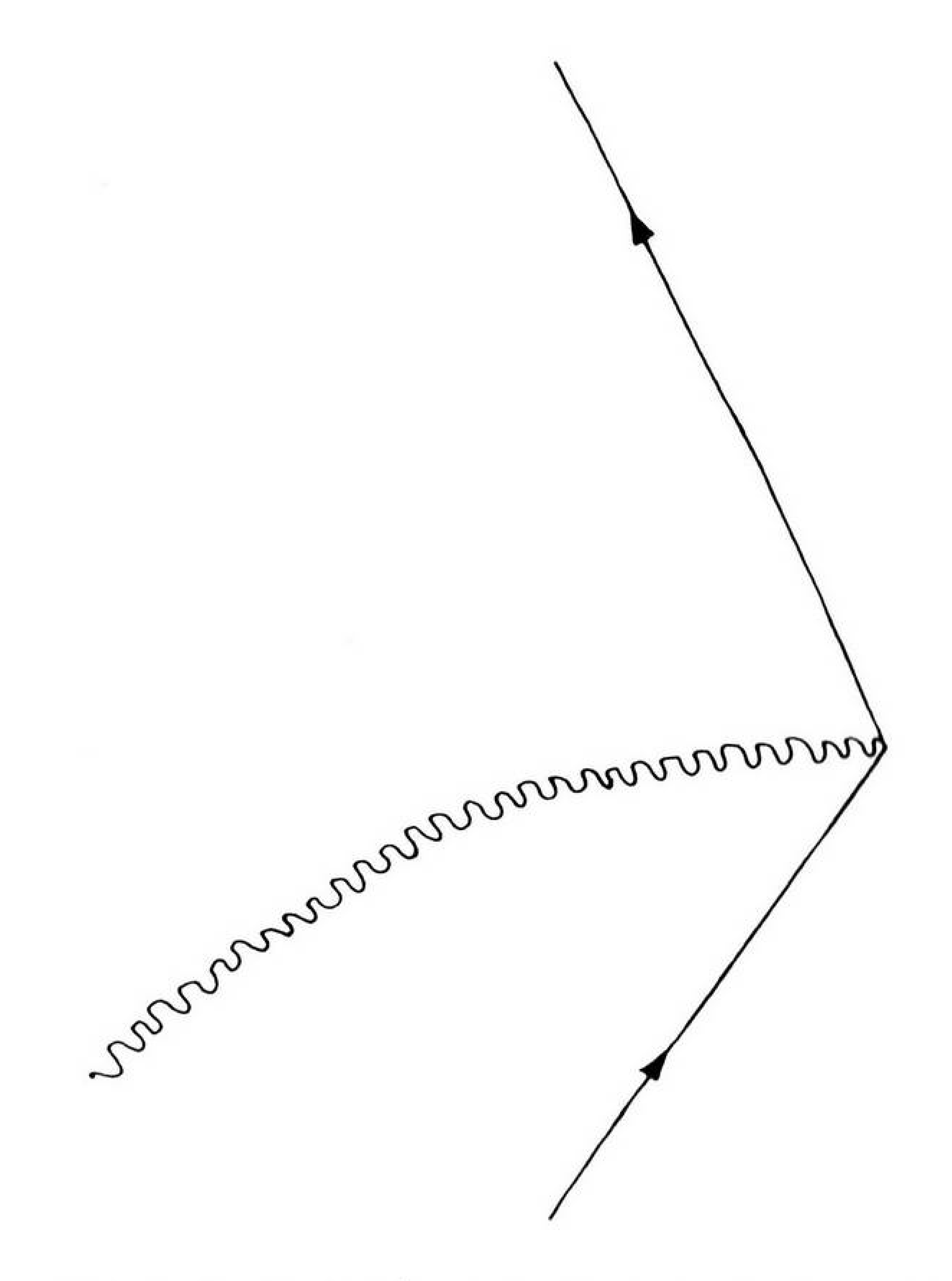


قد تكون هناك عملية مشابهة لما صور في الشكل ص١٩٥ أعلاه، وربما هي المسؤولة عن شحنة الجسيمات. وفي هذا الشكل يدخل إلكترون إلى ثقب دودي بينما يخرج إلكترون وينبثق فوتون.

فـفي وقتنا هذا، حيث وجد منظرو الأوتار الـفائقـة أن نظريتهم تتنبـأ بجسيمـات كتلتها أكبر ١٠١٩ مثلاً من كـتلة البروتونات، وحيث يتعامـل علماء الكونيات مع ثابت كوني يبـدو أنه أصغر ١٠١٢٠ مثـلاً عمـا ينبغي أن يكونه، في وقت كـهذا لا يبدو مطلقاً أن رقم ١٠٢٠ هو رقم جد مـخيف ورهيب. وبالطبع، فـإذا كنا سنأخذ النظرية مأخـذاً جدياً، يجب التخلص من هذا التـضارب، وهو ما يحـاوله بالضبط العديد من علماء الفيزياء النظرية في العديد من الجامـعات. فهم يبحثون للعثور على السبل التي يمكن بها تعديل النظرية لتعطي نتائج أكثر معقولية.

وإذا كانت الجـسيمـات تكتسب بالفعل الخـواص التي كـالشحنـة والكتلة بهذه الطريقة، فـإن هذا لا يتبعه بالضـرورة أنه يجب أن تكون هذه الخواص متـماثلة في

الأكوان المختلفة. «فثوابت» الطبيعة يمكن أن تتباين عشوائياً من كون لآخر.



الثقوب الدودية التي يفترضها هوكنج لا يمكن رؤيتها بسبب أبعادها تحت الميكروسكوبية. وهكذا فإنه يبدو أن العملية التي يبينها الشكل أعلاه هي تلك التي يبقى بها الإلكترون في كوننا ويبث فوتوناً أثناء انتقاله من خلال الفضاء.

ورغم أن كتلة الإلكترون هي نتيجة لمروره لداخل وخارج الثقوب الدودية، إلا أنه مما يمكن تصوره أن الإلكترون يمكنه أن يتخذ كتلة مختلفة عندما يظهر في مكان ما آخر.

ومرة أخرى، فإنه ينبغي أن أؤكد أن هذا كله يعد تخميناً بالغاً. وليس هناك من هو متأكد حقاً من وجود الثقوب الدودية أو الأكوان البديلة، أو من أن الجسيمات يمكن أن تنتقل من كون للآخر، إن كانت تفعل ذلك حقاً. وإذا ثبت في النهاية أن أياً من هذا صحيح، فإن فكرة أن بعض المقادير المعينة تتباين عشوائياً من كون لآخر قد يثبت في النهاية خطأها.

وعلى كل، فكما يوضح كولمان، إذا ثبت في النهاية صحة كل هذه الأفكار، فإنه سيتم تفسير أمور كثيرة. وعلى وجه التحديد، إذا كانت ثوابت الطبيعة تتباين على نحو عشوائي، فليس من سبب يمنع أن يُظهر الثابت الكوني هو أيضاً تبايناً عشوائياً كهذا. وإذا كان الحال هكذا، فإن ظاهرة الثقب الدودي ستتسبب أن يكون لبعض الأكوان ثوابت كونية كبيرة جداً، بينما يكون لبعضها الآخر ثوابت صغيرة جداً أو هي صفر.

وبالإضافة، فإنه حسب ما أجراه كولمان من حسابات، سيكون احتمال وجود الأكوان التي لها ثابت كوني من صفر أكبر كثيراً عن احتمال وجود الأكوان التي يكون لثابتها قيمة أخرى. ومن الجائز أن كوننا لم يلتف إلى كرة دقيقة الصغر لأن هذا المصير هو ببساطة مما لا يحدث إلا لعدد قليل جداً من الأكوان. وبالمثل، فإن من الجائز أن طاقة الفراغ لا تخلق تأثيرات درامية لأن المكان ـ الزمان هو ببساطة مليء بالثقوب.

المادة المظلمة:

لعل الأمر سيتطلب سنين أو عشرات السنين من البحث قبل أن يمكننا الجزم كل الجزم بأن أياً من الأفكار التي نوقشت أعلاه ليست إلا تخميناً جامحاً. ومن الجائز أيضاً أنها في النهاية سوف تنبذ (بل وربما تستبدل بمفاهيم أشد جموحاً). ولعله لن يكون من الأفكار السيئة أن نختتم هذا الفصل بالرجوع إلى موضوع مهم يعد بالمقارنة أكثر دنيوية: وهو مشكلة طبيعة المادة المظلمة.

ومشكلة المادة المظلمة يمكن تلخيصها كالتالي:

١ـ الملاحظات الفلكية تثبت أن الكون يحوي كتلة لا يمكننا رؤيتها. وليس هناك من هو واثق تماماً من مقدار ما هو موجود منها بالضبط.

٢ـ لما كان نموذج الكون الانتفاخي نموذجاً معقولاً، فإن هذا يجعل من المعقول أيضاً أن نعتقد أن كثافة المادة في الكون هي كما يبدو قريبة جداً جداً من القيمة الحرجة.

٣ـ المادة المضيئة الموجودة في النجوم والمجرات توفر كثافة مادة تقرب من واحد في المائة من القيمة الحرجة. وإذا أضفنا لذلك الأنواع الأخرى من المادة الباريونية التي قد تكون موجودة ـ مثل النجوم المعتمة، والأجرام التي يماثل حجمها حجم المشتري، وما إلى ذلك ـ فإن المادة الباريونية لا يمكن أن تمد بأكثر من حوالي ١٠ في المائة من الكثافة الحرجة.

٤ـ وبالتالي، فإنه يفترض عموماً أن ٩٠ في المائة من كتلة الكون موجودة في شكل جسيمات غريبة تخلفت عن الانفجار الكبير، أو في شكل جسيمات نيوترينو حاملة للكتلة أو في شكل أوتار كونية.

والآن، هيا نفترض أن الفرض الموجود في الفقرة ٤ ثبت في النهاية أنه خطأ. لنفرض أنه ثبت أن هذه الأشياء إما أنها لا توجد، أو أنها لا تحوي قدراً كبيراً من الكتلة مثلما يعتقد العلماء. في هذه الحالة، ماذا يمكن أن تكون المادة المظلمة ؟.

يطرح الفيزيائي برترام شوارتز تشيلد في مقال كتبه في عدد مارس ١٩٨٨ من مجلة «الفيزياء اليوم»، إجابة محتملة عن هذا السؤال. ويقول شوارتز تشيلد إن المادة المظلمة اللاباريونية لعلها لا توجد على الإطلاق. ولعله يوجد هناك ثابت كوني صغير جداً بحيث لا يمكن قياسه، ولكنه كبير بما يكفي لأن يحاكي تأثيرات المادة المظلمة، وعلى كل، فإن كثافة طاقة الفراغ التي تنتج الثابت الكوني سيكون لها كتلة مكافئة. ولعل «المادة» المظلمة أن تكون بدلاً من ذلك في الحقيقة طاقة.

ويبين شوارتز تشيلد أن الكون الذي له ثابت كوني ليس بالصفر يكون مختلفاً من أحد الوجوه الهامة عن الكون الذي له ثابت من صفر. فسوف يكون مقدار

الزمان الذي انقضى بعد الانفجار الكبير مقداراً أكبر؛ وسيكون تمدد الكون مما يتم «كبحه» بواسطة القوة الكونية على نحو مختلف عما بواسطة مقدار مكافئ من الكتلة. وفيما يفترض فإن عمر الكون يمكن عندها أن يكون أكبر كثيراً من ١٠ - ١٥ بليون سنة، ولن يجابه الفلكيون عندها بمشكلة وجوب تفسير السبب في أن ما رصدوه من نجوم لها أكبر العمر تبدو وكأنها في نفس عمر الكون ذاته، أو أكبر عمراً منه.

4

هوامش وحواف العلم

[10]
على الحافة

نظرية الأوتار الفائقة هي والنظريات التي تتحدث عن أصل الكون، تمثل أبعد حدود العلم. على أن مناقشة هذه الموضوعات المثيرة لا تؤدي في الحقيقة إلى اكتمال معالجة موضوعي، ذلك أني لم أنظر بعد أمر هوامش وأحرف العلم.

وأنا عندما أتكلم عن «الهوامش» إنما أفكر في نظريات العلم الزائف، والأفكار الغريبة، والفروض العلمية التي تتأسس على التفكير بالتمني أكثر مما تتأسس على الملاحظة التجريبية. ورغم أن هذا الموضوع المثير فيه قدر معين مما هو شيق، إلا أني لا أنوي الانغماس فيه في هذا الكتاب. فأنا مشغول هنا بأن أختبر فقط تلك الأفكار التي يمكن بمعنى ما أن تسمى حقاً بأنها أفكار علمية. أما الأفكار التي نجدها على هوامش العلم فهي عموماً ليست لها هذه السمة. وعلى أي حال فقد كتبت عن الأفكار التي على هامش العلم في مكان آخر، وقد ناقشت بعضها بإسهاب في كتابي «تفكيك الكون» (انظر المراجع).

على أني أود فعلاً أن أتابع فكرة أن هناك صنوفاً معينة من الفكر تقع على «حواف» العلم. وأعتقد أنه يمكن تصنيف هذا الفكر في قسمين كبيرين. فهناك من ناحية، أنواع من النظر بالتخمين يشغل بها العلماء وهي في طبيعتها فلسفية أكثر منها علمية، وهناك من الناحية الأخرى نظر بالتخمين ليس له أي مبرر قوي سواء كان نظرياً أم تجريبياً.

والفكر الذي ينتمي إلى الصنف الأخير يمكن تمييزه عن العلم الزائف لأن هناك دائماً دوافع علمية قوية للانشغال بهذا النوع من التخمين. وفي الحقيقة، فإن بعض النظريات عن أصل الكون تقع في هذا الصنف، أو هي على الأقل موجودة في منطقة حيث تتداخل «حدود» العلم و«حوافه» أحدها مع الآخر.

وإذا كان علينا أن نكتشف ما «هو» حقيقي فإن من الضروري أن نحدد ما «يمكن» أن يكون حقيقياً. والعلم لن يتقدم لو أن العلماء تطوعوا بوضع القيود على آفاقهم الذهنية. وبالتالي فإن الفيزيائيين يطرحون أحياناً الأفكار لا لسبب إلا لأن يظهروا أن هذه الأفكار ليست مما لا يتوافق مع قوانين الفيزياء المعروفة.

التاكيونات:

هناك مثل جيد لهذا النوع من النظر بالتخمين، وهو الفرض الذي طرحه الفيزيائي الأمريكي جيرالد فاينبرج بأنه قد تكون ثمة جسيمات موجودة تستطيع التنقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

وحسب نظرية النسبية الخاصة لآينشتين، فإن الجسم الذي لا تكون كتلته صفراً لا يمكن أن تعجل سرعته إلى سرعة الضوء. وتقول النظرية إن كتلة أي جسيم أو جرم مادي لا بد أن تزيد عندما تعجل سرعته إلى معدلات عالية. وكلما أصبح الجسيم أثقل، زادت صعوبة تعجيل سرعته، ذلك أنه سيكون له قصور ذاتي أكبر. وسوف يتطلب الأمر قدراً أكبر لبلوغ كل زيادة متتالية في السرعة، وسوف يتطلب الأمر قدراً لامتناهياً من الطاقة للوصول إلى سرعة الضوء.

وفاينبرج كان بالطبع يدرك تماماً هذا الجانب من نظرية آينشتين. وهو على كل لا يطرح أنه يمكن تعجيل سرعة أي شيء «عبر» حاجز الضوء. وإنما هو ببساطة يلحظ أن وجود جسيمات أسرع من الضوء، مما سماها التاكيونات، لن يكون متناقضاً مع نظرية آينشتين عندما نفترض أنها تلاقي نفس هذا الحاجز ولكن من الجانب الآخر. وبكلمات أخرى، فإن التاكيونات هي مما يمكن تصور وجوده، إذا كانت تحتفظ دائماً بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

وقد أثارت فكرة التاكيونات في أول الأمر قدراً من الاهتمام النظري، وجرت محاولات الكشف عنها تجريبياً (التاكيون يمكن التعرف عليه من حقيقة أنه ينتقل وراء في الزمان)، على أن الاهتمام بها ما لبث أن ذوى. وإذا حدث اليوم أن تنبأت نظرية بوجود التاكيونات (كما تفعل ذلك مثلاً بعض نظريات الأوتار الفائقة) فإن هذا يعد عيباً خطيراً.

وهكذا فإن فكرة أنه ربما توجد جسيمات أسرع من الضوء قد أثارت الاهتمام بها في أول الأمر. ثم تم اختبارها فنبذت أخيراً؛ ولكنها لم تنبذ بسبب العثور على أي أخطاء في منطق فاينبرج، أو لأن التجربة قد أثبتت أن التاكيونات غير موجودة. والحقيقة أن إثبات عدم وجود شيء ما تجريبياً هو أمر مستحيل. على أن السبب في توقف اهتمام العلماء بالتاكيونات هو أن افتراض وجودها ليس له فيما يبدو أي نتائج مهمة لا تجريبياً ولا نظرياً. ولم تتم ملاحظة أي ظواهر يمكن إرجاعها إلى وجود التاكيونات، وليس هناك أي أفكار نظرية واعدة تتطلب وجود التاكيونات فيما لو بدا أنها معقولة.

وبكلمات أخرى، فإن فكرة التاكيونات قد وصلت ببساطة إلى أن تبدو غير ذات موضوع أو لعلها أسوأ من أن تكون غير ذات موضوع، ذلك أن هذا الفرض ليس فحسب فرضاً لا يحل أي مشاكل نظرية بارزة، وإنما هو أيضاً يخلق مشاكل جديدة. ولو ثبت في النهاية أن التاكيونات حقيقية، لأصبح على العلماء أن يبحثوا أمر جسيمات تتحرك وراء الزمان، وأن يفسروا كيف يمكن أن يتأثر الماضي بالمستقبل. ومن المؤكد أن النسبية تقول إن الجسيمات الأسرع من الضوء سوف تبدو لبعض المراقبين فحسب على أنها تتحرك وراء خلال الزمان، على أنه لو أتيح عند ذلك، حتى ولو لبعض المراقبين، رؤية لمحة من المستقبل فإن هذا يكون أمراً سيئاً غاية السوء.

على أنه ينبغي ألا نستنتج أن فرض فاينبرج هو فرض سخيف - فهو قد يكون أي شيء إلا ذلك. ولو لم يتم استكشاف الفكرة، لما عرف أحد عند الالتقاء بها في نظريات الأوتار الفائقة إن كانت فكرة معقولة أو غير معقولة، ولما أصبح معنى «حاجز» الضوء في النسبية مفهوماً فهماً جيداً هكذا. وبالإضافة، فإن هناك أفكاراً أخرى تعادل ذلك في غرابتها، ثم ثبت في النهاية إما أنها حقيقة، أو أنها واعدة جداً. ولو توقف العلماء عن النظر في الأفكار التي تبدو غريبة، لأبطأ معدل البحث في فيزياء الجسيمات والكونيات منذ زمن طويل ليصل إلى أن يزحف زحفاً (وبالتالي ما كنت أنا لأكتب هذا الكتاب).

أفكار غريبة:

عندما يخطط الفيزيائيون رسماً لحواف العلم، فإنهم عندها ينشغلون بنشاط يختلف بعض الشيء عن العمل الذي يقوم به المشغولون بالتيار العلمي الرئيسي. واستكشاف حواف العلم هو محاولة لاكتشاف ما يمكن أن يبدو عليه الواقع الفيزيائي، وليس محاولة لاستنباط تفاصيل ما هو عليه. ويمكن القول بأن التيار الرئيسي للعلم هو وتخوم العلم يبحث في تخطيط رسم العالم المعروف، بينما علم الحافة يحاول أن يفهم ماهية أنواع العوالم التي في الإمكان وجودها.

والعلماء الذين يعملون على حافة العلم كثيراً ما ينشغلون، مثل فاينبرج، بمحاولة للعثور على ماهية أنواع الظواهر التي قد تكون فحسب متوافقة لا غير مع الفيزياء المعروفة. وبعضهم مثلاً يتساءلون عما إذا كان يمكن للزمان أن يجري وراء في كون يتقلص (ولم لا، مادام الزمان يجري أماماً في الكون المتمدد؟)، وعما إذا كان يمكن أن يوجد عدد لانهائي من الأكوان المتعاقبة، وعما إذا كان يمكن للبوزيترون أن يكون إلكتروناً يتحرك وراء الزمان. وفيما يتعلق بذلك، فإنه لو كان البوزيترون إلكتروناً يتحرك وراء، فإنه رغم كل ما نعرفه، قد لا يكون هناك في الكون سوى إلكترون واحد. وما ندركه على أنه جسيمات كثيرة ربما يكون هو نفس الجسيم الواحد يروح جيئة وذهاباً ماراً بنا في كلا الاتجاهين.

وكثيراً ما يبدو أن هذه الأفكار جنونية، ولكنها ليست أغرب من أفكار أخرى قد أصبحت مقبولة. ومن الممكن أن يكون ضمن قائمة هذه المفاهيم «المجنونة» فكرة وجود الجسيمات التقديرية، وفكرة آينشتين بأن الجاذبية تستطيع أن تحني شعاعاً من الضوء، وفكرة أن ثمة وجوداً لأجرام مثل الثقوب السوداء. ورغم أن هذه الأفكار مألوفة الآن، فإنها كلها بدت مما يصعب تصديقه عندما طرحت لأول مرة. بل وفيما يتعلق بذلك، فإن فكرة أن الذرة لها مكوناتها، أو أن الكون يتمدد، قد بدت ذات مرة أفكاراً غريبة.

والتقدم العلمي كثيراً ما يعتمد على الاستعداد للتخلي عن أفكار الحس المشترك. والفيزيائيون البارعون يجب أن يكونوا مستعدين لنبذ ما هو راسخ من آراء وأحكام، ويجب عليهم أن يتساءلوا، لا عما تكونه حدود الكون فيما يبدو، وإنما عما يمكن أن تكونه، ويجب عليهم أن يتساءلوا عما تكونه أنواع الظواهر الغريبة

التي قد تسمح بها قوانين الفيزياء، وأن يفكروا فيما يبدو أنه من المستحيل حتى يجدوا ما تكونه الحقيقة.

الثقوب السوداء والثقوب الدودية والسفر في الزمان:

وبهذه الأفكار في ذهننا، سوف أوصف نظرية هي مما لا تحتمل صحتها بأي حال ولكنها بالضبط مما يمكن تصور إمكانه. ولو التزمنا الدقة في كلامنا، فإننا فيما يحتمل ينبغي ألا نسميها «نظرية» على الإطلاق، حيث إنها ليست باستقصاء لقوانين الفيزياء بقدر ما هي تخمين يعنى بالأشياء التي قد تستطيع أن تؤديها مدنية لها تكنولوجيا بالغة التقدم.

وعلى وجه التحديد، فإن الفيزيائيين الذين أنشأوا هذه «النظرية» يتساءلون عما إذا كانت الكائنات التي أنشأت مدنيّة كهذه قد يكون لها القدرة على القيام بشيئين كثيراً ما يوصّفهما كتاب روايات الخيال العلمي، وهما: السفر عبر الفضاء ما بين النجوم بسرعات أكبر من سرعة الضوء، والاشتغال بالسفر في الزمان.

وقبل أن أوصّف النظرية التي أنشأها بعض علماء الفيزياء بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وهم مايكل س. موريس، وكيب س. ثورن، والفي يورتسيفر، فإنني يجب أن أذكر بعض خلفية لها، وأن أناقش أفكاراً - هي مثل فرض التاكيون لفاينبرج - قد أثارت في وقت ما قدراً كبيراً من الاهتمام، ولكنها ما لبثت أن نبذت فيما بعد على أنها غير واقعية.

إن الثقب الأسود له حسب نظرية النسبية العامة ملمحان مهمان يسميان أفق الحدث والمفردة. وأفق الحدث هو سطح كروي تنتقل الأشياء من خلاله في اتجاه واحد فقط. فلا يوجد ما يمنع شيئاً - سواء أكان مادة أو شعاع ضوء - من أن يدخل أفق الحدث من الخارج، ولكنه ما أن يفعل ذلك فإن الجاذبية ستمنعه من المرور من خلال هذا السطح في الاتجاه الآخر حتى يصل للكون الخارجي ثانية. وعلى وجه التقريب، فإنه يمكن القول بأن أفق الحدث «هو» الثقب الأسود.

وأفق الحدث ليس شيئاً فيزيقياً له وجود مادي حقيقي؛ فهو على العكس من ذلك سطح رياضي متخيل. والمادة التي تخلق ما للثقب الأسود من جاذبية هائلة

هي كلها مركزة في منطقة تسمى المفردة، تقع في مركز الثقب الأسود. والمفردة حسب النسبية العامة، هي نقطة رياضية، والمادة التي فيها لها كثافة لامتناهية.

وهناك أسباب قوية للاعتقاد بأن هذه الكثافة اللامتناهية ليست مما يحدث. ولو كان لدى الفيزيائيين نظرية للجاذبية الكمية قابلة للاستخدام، ولو طبقوا هذه النظرية على الظروف التي في داخل الثقب الأسود، فإنهم في أغلب الاحتمال سوف يكتشفون أن المفردة قد «بُسطت» لتصبح ممتدة إلى حد ما، وأن الكثافة هنا كبيرة جداً ولكنها ليست لامتناهية. فإذا كانت المفردة ليست نقطة بلا أبعاد كما تصفها النسبية العامة، فإنها في أغلب الاحتمال صغيرة جداً. وهناك كل ما يدعو للاعتقاد بأن المادة التي بداخل الثقب الأسود مضغوطة بالجاذبية إلى حجم أصغر كثيراً من نواة الذرة. وبالإضافة، فإن أي مادة تهوي لداخل الثقب الأسود ينبغي أن يتم أسرها بجاذبية المفردة. وكمثل، لو تمكن رائد فضاء على نحو ما أن يبقى حياً بعد مروره من خلال أفق الحدث، فإن كل ما يمكنه أن يتوقعه هو أن سفينته سوف تهوي لداخل المفردة فتنسحق خارج الوجود.

وعلى الأقل، فسوف يكون مصيره هكذا إذا كان الثقب الأسود لا يدور. على أن هذا الفرض بالذات بأن الثقب الأسود دورانه صفر، ليس بالفرض الواقعي على وجه التحديد، حيث إن كل الأشياء التي في الكون لها بالفعل لف من نوع ما. فالأرض تدور حول محورها، كما تفعل ذلك الكواكب الأخرى، والشمس لها دورانها مثل النجوم الأخرى، والمجرات تدور بأسرها. وسيكون من غير المعقول أن نعتقد أن الثقب الأسود الذي تكوّن من تقلص نجم يفترض فيه الدوران، ينبغي ألا يكون له أي لف على الإطلاق.

وقد استُنبطت أثناء الستينيات النظريات الرياضية عن بنية الثقب الأسود، واكتشف الفيزيائيون أن المفردة التي في ثقب أسود دوار لن يكون لها شكل النقطة، وإنما سيكون لها شكل الحلقة. وهناك بالإضافة حسابات نظرية معينة تدل فيما يبدو على أنه إذا حدث أن هوى أحد الأشياء (كسفينة فضاء مثلاً) تجاه المفردة على النحو المناسب بالضبط، فإنه سيتجنب المفردة ليمر داخل منطقة ما من الفضاء غير معروفة من قبل.

وبكلمات أخرى، فإنه من الممكن أن ثمة ثقباً دودياً يوصل داخل الثقب الأسود

إلى كون آخر، أو إلى منطقة بعيدة من كوننا نحن. وفيما يتعلق بذلك، فإن الثقب الدودي يمكن أن يؤدي إلى كوننا في عهد آخر من الزمان. وتدل هذه النتائج فيما يبدو على أن الانتقال من خلال الثقوب السوداء يمكن نظرياً أن يستخدم للسفر تو اللحظة بسرعة أكبر من سرعة الضوء للانتقال إلى مناطق أخرى من الكون، أو للسفر إلى الماضي أو المستقبل.

ورغم أن هذه الفكرة قد استخدمها كتاب روايات الخيال العلمي على نطاق واسع، إلا أنه سرعان ما اتضح أنها لا يمكن تنفيذها عند التطبيق. والحقيقة أن فيها على الأقل نصف دستة من الأخطاء. وفي أول مكان، فإن أي رواد للفضاء يجازفون بالوجود على مقربة من أفق الحدث لثقب أسود، سوق يلقون حتفهم فيما يحتمل بواسطة قوى الجاذبية الهائلة التي سيجابهونها. بل سوف يحدث لهم ذلك قبل أن يجتازوا أفق الحدث. وسوف تتفسخ سفينتهم، وتشد الجاذبية أجسادهم ممزقة إياها.

ولو تمكن رواد الفضاء على نحو ما من البقاء أحياء بعد رحلة داخل الثقب الأسود ولو أمكنهم بالفعل أن يسافروا من خلال ثقب دودي، فإنهم فحسب سيخرجون منه إلى داخل ثقب أسود في مكان ما آخر. وحتى لو أمكنهم تجنب ذلك - ووجدوا أنفسهم لسبب ما في بعض مكان آخر ليس بثقب أسود - فإن طريق العودة سيظل مستحيلاً عليهم. ولو حاولوا العودة إلى منطقة الكون الخاصة بهم، سيجدون أنفسهم وقد عادوا ثانية إلى الثقب الأسود الذي دخلوه أصلاً، وهم لا يستطيعون الخروج منه.

وبالإضافة، هناك صعوبات نظرية بشأن فكرة أن تكون الثقوب السوداء بوابات لمناطق أخرى من المكان - الزمان. وقد أمكن إثارة الشك في فكرة أن الثقوب الدودية التي يفترض أنها توصل ما بين الثقوب السوداء هي موجودة حقاً. وحسب بعض الفيزيائيين فإن التجريدات الرياضية التي أدت إلى هذا الاستنتاج هي موضع شك. وحتى لو كانت الثقوب الدودية تتشكل بالفعل، فإنها لا تظل موجودة لزمن يكفي لأن يمر رواد الفضاء من خلالها، فالحسابات تدل على أنها تنغلق وذلك تقريباً بمجرد أن يتم تخليقها. ولو أمكن على نحو ما أن تُجعل الثقوب الدودية مستقرة وأن تظل مفتوحة، فإنها «مع ذلك» لن يمكن استخدامها

للسفر خلال الفضاء أو الزمان، ذلك أن الإشعاع يكون جدّ كثيف بداخلها بحيث إن أي كائن يحاول المرور من خلالها سيلقى حتفه في التو تقريباً.

وأخيراً فإن الفكرة كلها تبدو فيها مفارقة. فلو كان من الممكن السفر بالثقوب الدودية هكذا، لأمكن لرواد الفضاء الارتحال من خلال الماضي. وهذا بالطبع سيجعل من الممكن لهم أن يعودوا إلى الأرض ليقتلوا أنفسهم وهم أطفال، أو ليقتلوا أمهاتهم قبل أن يولدوا.

شوارتزشيلد وثقوبه الدودية:

الثقوب الدودية التي توصل ما بين الثقوب السوداء ليست هي النوع الوحيد من هذه الثقوب الذي يمكن وجوده نظرياً. ويتفق أنه توجد حلول لمعادلات النسبية العامة تسمح بإمكان وجود ثقوب دودية تصل بين المناطق المختلفة من المكان ـ الزمان حيث لا توجد ثقوب سوداء. وتسمى هذه بالثقوب الدودية لشوارتز تشيلد، وذلك على اسم الفلكي الألماني كارل شوارتزشيلد، الذي قام ببعض أبحاث مهمة على النسبية العامة أثناء السنوات التي تلت مباشرة نشر نظرية آينشتين. على أنه ينبغي أن أوضح أن أول عالم أدرك أن النسبية العامة تسمح بوجود مثل هذه الثقوب الدودية لم يكن شوارتز تشيلد وإنما هو فيزيائي من فيينا يدعى لودفيج فلام.

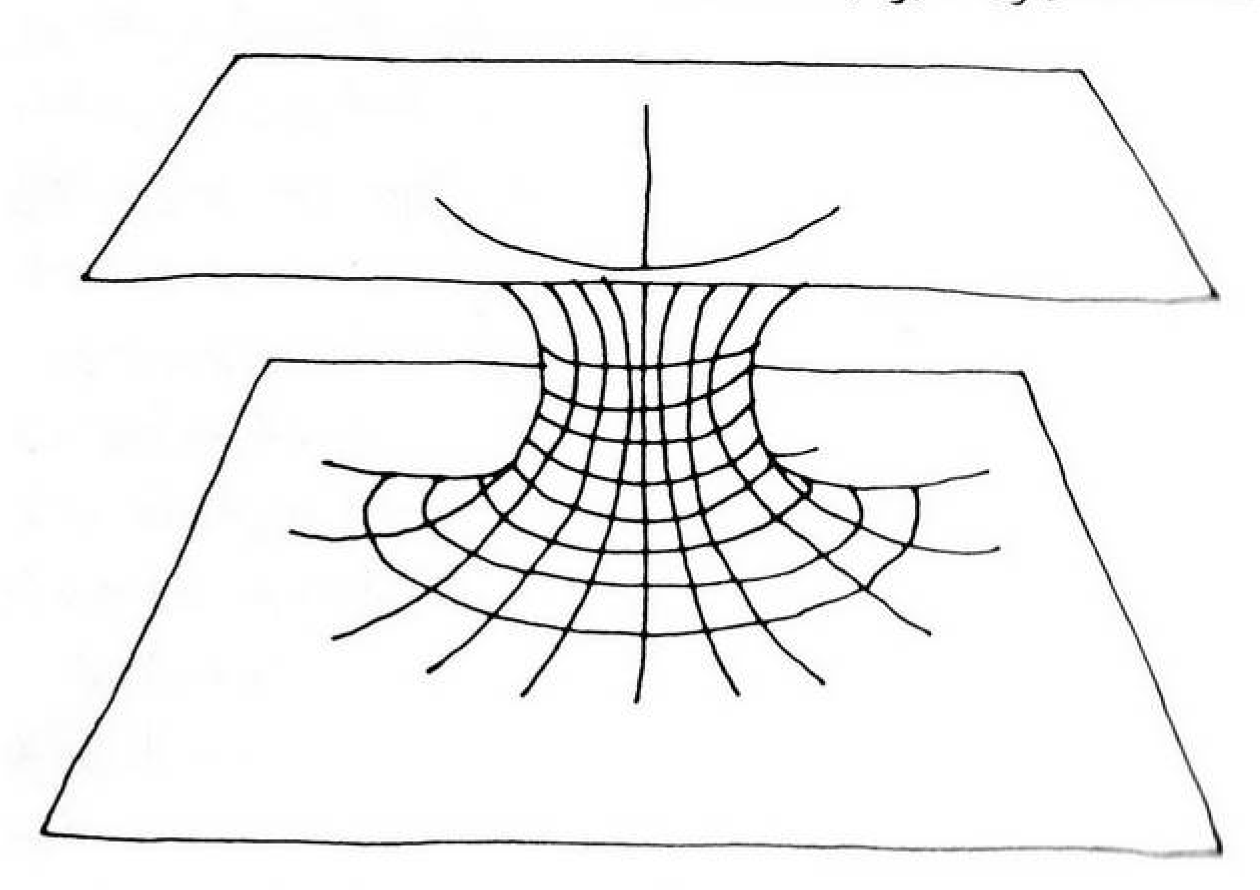
والآن، فإذا كانت معادلات آينشتين تسمح بوجود ثقوب شوارتزتشيلد الدودية فإن هذا لا يترتب عليه بالضرورة أنها موجودة. وهذا الوضع فيه ما يماثل وضع وجود التاكيونات، فالنسبية الخاصة تسمح بوجودها، إلا أنها رغم ذلك ليست موجودة في الطبيعة. والحقيقة أنه يكاد يكون من المؤكد أن ثقوب شوارتز تشيلد الدودية لا وجود لها. وتدل الحسابات على أنه لو كان لها أن توجد الآن، لكان يجب أن يكون الكون قد خلق في حالة شبه مرضيّة بما هو من غير المحتمل. وعلى وجه التحديد، كان يجب أن يحوي الكون المبكر مفردات عديدة.

إذن، فكما هو ظاهر لن يمكن استخدام ثقوب شوارتزتشيلد الدودية في الطبيعة للسفر بين النجوم، أو للارتحال في الماضي أو المستقبل ـ ذلك أنه لا يمكن لرائد الفضاء أن يقوم برحلة من خلال شيء لا وجود له. وعلى أي حال، فكما سوف نرى فإن هذا لا يتضمن بالضرورة أننا يجب أن نتخلى عن فكرة السفر

بالثقوب الدودية.

اصطياد السمك من بحر الكم:

في ١٩٨٨، نشر موريس، وثورن، ويورتسيفر ورقة بحث في مجلة «فيزيكال ريفيولترز»، وطرحوا فيها أن المدنية ذات التكنولوجيا بالغة التقدم قد تجد الأساليب لاصطياد ثقوب شوارتز تشيلد الدودية الميكروسكوبية لتخرجها من فوضى الكم وتكبرها إلى أحجام ماكروسكوبية. وإذا أمكن فعل ذلك، وإذا أمكن الإبقاء على هذه الثقوب الدودية، فإن السفر من خلالها قد يصبح رغم كل شيء من الأمور الممكنة، كما يقول كاتبو البحث الثلاثة.



تصوير تخطيطي لثقب دودي. ومنطقتا المكان اللتان يوصل بينهما الثقب الدودي تصوران كصفحتين مسطحتين هما من بعدين. ولو وجدت ثقوب دودية كهذه في الطبيعة، فإنها في أغلب الاحتمال ستوجد فحسب على المستوى تحت الميكروسكوبي، ولن يمكن اكتشافها بالأدوات العلمية الموجودة حالياً. على أن موريس، وثورن، ويورتسيفر يطرحون أن المدنية بالغة التقدم قد تكون قادرة على «اصطياد» ثقوب دودية كهذه لتخرجها من بحر الكم ثم تكبرها.

ورغم أن العلماء لا يملكون بعد نظرية جاذبية كمية صالحة للعمل، فإنهم كثيراً

ما يلجأون للتخمين بشأن هذه النظرية التي، فيما يمكن تصوره، قد تخبرهم عن بنية المكان ـ الزمان على المستوى تحت الميكروسكوبي. ويعتقد الكثيرون منهم أنه عند أبعاد من مستوى ١٠-٣٣ سنتيمتر، يجب أن يكون ثمة تراوحات للمكان ـ الزمان هي مما يماثل على وجه التقريب تراوحات الكم المسؤولة عن تخليق الجسيمات التقديرية. ومن المحتمل أنه على المستوى تحت الميكروسكوبي، لن يكون بعدُ للمكان والزمان ذلك المظهر الهادئ الذي يبدوان عليه في العالم الميكروسكوبي. وفيما يعتقد، فلو أمكن للعلماء رؤية الأشياء التي لها أبعاد من ١٠-٣٣ سنتيمتراً أو أقل، فسوف يجدون أن المكان ـ الزمان له مظهر كالزبد. وسيبدو وكأنه كتلة مزبدة مليئة بما هو دقيق الصغر من جسور للمكان ـ الزمان، ومن الثقوب الدودية التي تتوافد باستمرار إلى الوجود خارجة من لاشيء لتمدد وتنكمش وتلتوي في أشكال عجيبة، ثم تختفي ثانية. ويظن كثير من العلماء أن المكان ـ الزمان يشبه محيطاً عاصفاً مزبداً يبدو هادئاً فحسب عند النظر إليه من بعيد.

ويخمن موريس وثورن ويورتسيفر أن المدنية المتقدمة قد تتمكن على نحو ما من «اصطياد» ثقب دودي لتخرجه من بحر الكم هذا وتكبره إلى أبعاد ماكروسكوبية. وهم لا يحددون كيف يمكن فعل ذلك، وإنما يشيرون فقط إلى أنه لا بوجد قانون يعرفونه في الفيزياء يمنع فعل ذلك.

ثم إنهم بعدها ينظرون في مسألة ما إذا كان ثقب شوارتزتشيلد الدودي هذا هو مما يمكن أن يستخدم للقيام برحلات في المكان والزمان. وهذا الثقب الدودي سيكون مشابهاً للثقوب التي وصفها فلام وشوارتز تشيلد، ذلك أنه لا يوصل إلى ثقوب سوداء. ويجد الفيزيائيون الثلاثة أن السفر من خلال الثقب الدودي لن يكون سهلاً. وتدل حساباتهم على أنه سيلزم إبقاء الثقب الدودي مفتوحاً باستخدام «مادة غريبة» أو «مجال غريب» لهما القدرة على تحمل ضغوط تبلغ تقريباً ١٠ ٣٧ رطلاً لكل بوصة مربعة. ويقر كاتبو البحث أنه قد يثبت في النهاية أن مثل هذه المجالات هي نظرياً لا يمكن الوصول إليها. وفيما يتعلق بذلك، فإنه لو أمكن تخليق ثقوب دودية ماكروسكوبية كهذه، فإنه قد يثبت في النهاية أنها غير مستقرة إلى الحد الذي يمنع استخدامها للسفر. أو بدلاً من ذلك فإن المجالات الغريبة التي تبقي

الثقوب مفتوحة قد تتفاعل مع المادة العادية على نحو يؤدي أيضاً إلى منع سفر البشر. ولن يرغب سوى قلة من الناس في أن يقوموا برحلة كهذه، حيث يحتمل أن تحولهم القوى الناجمة عن هذه المجالات إلى شيء يشبه مربى الفراولة، أو أن هذا هو ما استنتجه موريس وثورن في مقالة ثانية، نشرت في «المجلة الأمريكية للفيزياء». وأخيراً فإن السفر وراء في الزمان الذي تسمح به هذه الثقوب الدودية يمكن أن يمنع إنشاءها «على نحو لم يتم بعد تخيله».

ورغم كل هذا، فإن كاتبي البحث يؤيدان أن فكرة الثقوب الدودية التي يمكن اجتيازها هي فكرة يجب على الأقل أن تعد كأحد الممكنات. ويقول موريس وثورن «نحن لا نعرف اليوم ما يكفي لإثبات أو دحض هذه المشاكل، وما يناظر ذلك أننا لا نستطيع إلغاء احتمال وجود ثقوب دودية للمكان ـ الزمان هي مما يمكن اجتيازه».

والثقوب الدودية التي يمكن استخدامها للسفر في المكان والزمان تبدو وكأنها مثل روايات الخيال العلمي أكثر من أن تكون كالعلم. وعلى نحو ما، فإن هذا هو ما هي عليه بالضبط ـ وفي الحقيقة، فإن النظرية ظهرت لأول مرة، لا في مجلة علمية، وإنما في رواية خيال علمي. ويبدو أن المؤلف كارل ساجان عندما كان يكتب روايته «الاتصال» قد سأل أحد الفيزيائيين إن كان يستطيع أن يمده بطريقة معقولة للسفر بين النجوم بسرعة أسرع من الضوء. وتم إمداد ساجان ببعض تفاصيل النظرية، فضمنها كما ينبغي في كتابه.

ورغم أن هذه النظرية فيها أوجه معينة من الخيال القصصي، فإننا ينبغي ألا نفترض أن متابعة مثل هذه الأفكار ليس فيها هدف علمي. وعلى وجه التأكيد، فإن مؤلفي النظرية الثلاثة لم يكونوا يحاولون اكتشاف حقائق غير معروفة من قبل، وإنما كانوا مشغولين بمحاولة إثبات ما تكونه أنواع الظواهر التي قد تسمح بها قوانين الفيزياء المعروفة. وبهذا المعنى فإن الأسئلة التي أثاروها فيها بعض ما يثير الاهتمام.

[11]
الفيزياء (الفيزيقا) والميتافيزيقا

لولا أن العلماء يفترضون بعض الفروض الفلسفية المعينة، غير القابلة للإثبات، لكان من المستحيل عليهم أن يفهموا أدنى الفهم ما يلاحظونه من ظواهر في العالم الطبيعي. وكمثل، فسيكون من المستحيل عليهم إنجاز أي فيزياء لو أنهم لم يفترضوا أن هناك أشياء من مثل القوانين الفيزيائية، وأن هذه القوانين تظل دائماً هي نفسها. وقد أصبحت أساليب التفكير العلمي مما ألفناه اليوم تماماً بحيث إننا لا نكاد ندرك أنه ليس من الواضح جداً لماذا يجب أن تكون الحال هكذا. فالطبيعة مليئة، بالمقادير المتغيرة: والشمس لا تشرق كل يوم في نفس الوقت، ومد المحيط لا يحدث في الأيام المتعاقبة في نفس الوقت ولا يصل إلى نفس الارتفاع. ولعله كان سيبدو من الطبيعي أن نرجع هذه الظواهر إلى أسباب متنوعة. أما فكرة أنها يمكن إرجاعها إلى فعل قانون للجاذبية لا يتغير أبداً فهي في الحقيقة فكرة بارعة معقدة.

وهناك فروض فلسفية أخرى يجب أن يفترضها علماء الفيزياء والكونيات الذين يحاولون فهم خواص الكون. وكمثل، لا توجد أي وسيلة للبرهنة على أن قوانين الفيزياء يجب أن تكون في المجرات البعيدة هي نفس القوانين بالضبط كما في منطقتنا من الفضاء، ولكننا إذا لم نفترض ذلك، فلن يكون هناك إمكان لوجود شيء من مثل علم فيزياء الفلك.

وبالمثل، لإنه إذا كان لنا أن نتحدث عما مضى من تطور الكون، فيجب أن نفترض أن القوانين الفيزيائية التي يجري العمل بها اليوم هي نفس القوانين التي حددت سلوك المجالات والجسيمات منذ بلايين السنين. ومرة أخرى، فإنه لا توجد أي وسيلة للبرهنة على أن هذا ما يجب أن تكون عليه الحال. ومما يمكن تصوره، هو أنه لم يكن هناك قط أي انفجار كبير أو تمدد انتفاخي، وإنما خدعنا بالتفكير في

أن هذه الأحداث قد وقعت لأننا لا نعرف أن قوانين الطبيعة قد تغيرت عبر الزمان. فهذه الفكرة هي مما يمكن تصوره وإن كانت ليست جد جذابة. فلو كانت القوانين تتغير بوسائل غير معروفة، لن يكون في استطاعتنا مطلقاً أن نتحدث عن «قوانين الطبيعة».

وفكرة أن قوانين الطبيعة التي ندركها هي القوانين نفسها التي يجري العمل بها في أماكن أخرى وأزمنة أخرى هي فكرة لا يمكن إثباتها، على أن هناك رغم هذا أدلة من قرائن كثيرة في صف ذلك. فطرح هذا الفرض قد أدى إلى خلق نظريات لها قدرة تنبؤية وهي كما يبدو قد أعطت تفسيرات متماسكة للظواهر التي نلاحظها اليوم في الكون. وبكلمات أخرى فإن افتراض هذا الفرض الذي هو أساساً فرض فلسفي، قد أدى إلى خلق نظريات علمية هي فيما يبدو معقولة.

ولعل هذا أيضاً هو ما يبرر الفرض الفلسفي الذي يفترض البساطة. وقد أدركنا بصفة عامة، منذ عهد نيوتن على الأقل، أننا عندما نواجه بعدد من التفسيرات المختلفة الممكنة لإحدى الظواهر، فإنه يكاد دائماً يثبت في النهاية أن أبسط هذه التفسيرات هو التفسير الصحيح. وكمثل، فإن النظرية الكوبرنيكية أو نظرية مركزية الشمس في المنظومة الشمسية هي مما اتضح منذ قرون مضت أنها تتفوق على نظرية بطليموس أو نظرية مركزية الأرض. ولو افترض العلماء كما فعل الفلكي السكندري بطليموس، أن الشمس تدور حول أرض لا تتحرك، لأصبحت حركة الكواكب الأخرى معقدة تعقداً جد بالغ. وهكذا فإن من الأبسط كثيراً أن توضع الشمس في مركز الأشياء.

وبالمثل، فإن فكرة أن عدد العناصر الكيماوية العجيب الذي يبلغ الاثنين والتسعين هو عدد أكبر إلى حد بالغ أن يجعلها المكونات الأساسية للمادة، هذه الفكرة قد حفزت الفيزيائيين إلى اكتشاف مكونات الذرة، البروتون والنيوترون والإلكترون. والإحساس بأن عالم تحت الذرة لا يمكن أن يكون مصنوعاً من مئات الأنواع المختلفة من الجسيمات «الأولية» هو الذي أدى إلى اكتشاف الكواركات، وأدى في النهاية إلى البحث عن نظرية موحدة لقوى الطبيعة. ونحن لا يمكننا حقاً أن نبرهن على أن البنيات الأساسية للطبيعة يجب أن تكون بسيطة. على أن افتراض هذا الفرض هو فيما يبدو مفيد بالتأكيد.

على أنه ينبغي أن أشير إلى أن النظريات «البسيطة» يمكن من الوجهة الرياضية أن تكون معقدة جداً. وكمثل، فإن نظرية النسبية العامة التي تتأسس على عدد صغير من المسلمات البسيطة، أمكن أن ينتج عنها بعض معادلات جد معقدة بحيث لم يمكن قط حلها خلال الفترة التي مرت منذ طرحت النظرية، وهي فترة تزيد عن سبعين سنة. وبالمثل، فإن نظرية الأوتار الفائقة التي تتأسس كما رأينا على فكرة بسيطة نسبياً، وهي أن الجسيمات الأولية هي أساساً حلقات متذبذبة، هذه النظرية قد نتج عنها معادلات يئس الفيزيائيون من أن يستطيعوا حلها في أي وقت من المستقبل المنظور.

وإذا كانت المسلمات البسيطة تؤدي أحياناً إلى مشاكل رياضية هائلة، فإن الفروض المعقدة ستؤدي إلى نظريات هي حتى أسوأ. وفي غالب الاحتمال، سيكون من المستحيل فهم أي شيء منها على الإطلاق. ولن نكون على خطأ عندما نقول إنه بدون افتراض البساطة لا يستطيع أحد إنجاز أي فيزياء.

المبدأ الإنساني:

لست أنوي مناقشة فرضي البساطة وثبات قوانين الطبيعة بأي تفصيل كبير. فهذا الموضوع المهم قد نظر فيه العديد من المؤلفين الآخرين، وإني لأشك في أن لديّ أي كثير يضاف إلى ذلك. وهدفي الوحيد من ذكري لهما هو أن أوضح الرأي بأن الأفكار الفلسفية تلعب بالفعل دوراً مهماً في التفكير العلمي، وأنها في الحقيقة تُضمّن أحياناً في الحجج العلمية. وكما رأينا مثلاً، فإن الفيزيائيين يناقشون احتمال انتهاك العلّية عندما يناقشون احتمال السفر وراء في الزمان، وكثيراً ما يستشهدون بانتهاكات العلّية كسبب للتفكير مثلاً في أن التاكيونات لا وجود لها. ومفهوم العلّية هو فكرة فلسفية وليست علمية، ويمكننا أن نضعه ضمن الفروض الفلسفية التي يتأسس العلم عليها.

وفي السنوات الأخيرة، أخذ الفلاسفة يلجأون إلى فكرة فلسفية أخرى في مناسبات عديدة حتى أصبحت هذه الفكرة مشهورة بعض الشيء وهذه الفكرة التي عرفت باسم المبدأ الإنساني، يشهّر بها الفلاسفة على أنها علامة مرضيّة على العودة للفكر الذي كان سائداً قبل كوبرنيكوس، كما أن الفيزيائيين ينتقدونها على

أنها غير علمية. وكمثل، فإن الراحل هاينز باجلز قد وسمها بأنها «خدعة .. ليس لها أية علاقة بالعلم التجريبي»، وأطلق عليها أنها مثل من «النرجسية الكونية»، على أن علماء آخرين يحسون بأن لهذا المبدأ قدرة حقيقية على التفسير. والحقيقة، أن الفلكي الانجليزي جون د. باور هو الفيزيائي والأمريكي فرانك ج. تبلر يحاولان في كتابهما «المبدأ الإنساني الكوني» أن يبينا أن حجج المبدأ الإنساني قد استخدمت بنجاح خلال كل التاريخ العلمي.

نحن موجودون !

هناك حقيقة أوضح من حقائق الكون لا تقبل الجدل وهي أن الكون يحوي ملاحظين أذكياء. والكون قد يؤوي أو لا يؤوي أشكالاً مختلفة من الحياة الذكية. ورغم أن الكثيرين من العلماء يظنون أن الحياة موجودة فيما يحتمل في منظومات نجمية عديدة مختلفة، فإنه ما من سبيل للبرهنة على ذلك. على أن هناك حقيقة واحدة واضحة: وهي أن الكون يحوي على الأقل شكلاً واحداً من الحياة الذكية، هو الجنس البشري.

على أنه يبدو أن وجود كون له القدرة على إيواء الحياة لهو في الحقيقة أمر قليل الاحتمال جداً. وفيما يفترض فإنه ليس من سبب يمنع من أنه يمكن لقوانين الفيزياء وثوابت الطبيعة أن تكون مختلفة اختلافاً هيناً عما هي عليه. وكمثل، فإن الجاذبية يمكن أن تكون أقوى قليلاً مما هي عليه، أو أن القوى القوية والضعيفة يمكن فيما يفترض أن تكون أضعف قليلاً. ومن الظاهر أنه ليس من سبب أساسي يمنع فيما ينبغي أن تكون شحنة الإلكترون أكبر قليلاً مما هي عليه، أو أن تكون كتلة البروتون أقل قليلاً. على أنه لو تم وقوع أي من هذه التغيرات، فيكاد يكون من المؤكد أنه سينتج عن ذلك كون لا حياة فيه. وفيما يبدو، فإنه ما لم يكن هناك مبدأ غامض يعمل هنا، فإن الحياة ستكون نتيجة لسلسلة من مصادفات استثنائية.

ونفس وجود العناصر التي تتأسس عليها الحياة، مثل الكربون والأوكسجين، هو فيما يبدو يعتمد على ما لا يمكن وصفه إلا بأنه ضربة حظ غير متوقعة. فهذه العناصر لم يكن يمكن قط تخليقها بكميات يعتد بها لو لم تكن نوى ذرات الكربون والبريليوم تحوي بالضبط المستويات المناسبة من الطاقة ـ وهو أمر من

الظاهر أنه يتم مصادفة. ونواة الكربون التي تتكون من ست بروتونات وست نيوترونات، يمكن تركيبها من ثلاث نوى للهليوم (التي لكل منها بروتونان ونيوترونان). على أن هذه العملية ما كانت لتحدث كثيراً جداً لو لم يكن يوجد شكل غير مستقر من البريليوم (له أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات) وله بالضبط ما هو مناسب من الخواص.

وحسب ميكانيكا الكم، فإن الذرة أو نواة الذرة لا يمكن أن تحوز أي قدر اعتباطي من الطاقة. فالذرات والنوى كلاهما لهما مستويات طاقة عديدة مختلفة. وهي لا يمكنها أن تمتص الطاقة أو تبثها بأي قدر اعتباطي، وإنما لا بد وأن تخضع في ذلك لوثبات كمية تذهب بها من أحد مستويات الطاقة المسموح به إلى الآخر. ومستويات الطاقة تلعب دوراً مهماً في التفاعلات النووية. وعلى وجه التحديد، فإن اتحاد نواتي هليوم معاً ليكونا نواة بريليوم سيكون من الأمور النادرة جداً ما لم يكن للبريليوم مستوى الطاقة المناسب بالضبط. والواقع أن وجود هذا المستوى يضفي على نواتي الهليوم ألفة Affinity فيما بينهما ما كانتا تحوزانها بغير ذلك.

ونواة الكربون يبدو أن لها أيضاً مستوى الطاقة المناسب بالضبط لما يحتاجه دعم تكوين الكربون من الهليوم والبريليوم. وإذا لم يوجد هذا المستوى، فسيظل تكوين الكربون أمراً ممكناً، ولكن ليس بكميات يعتد بها. ولو كانت كمية الكربون في الكون تقل كثيراً عما هو موجود، لن يكون من الممكن أيضاً وجود قدر كبير من الأوكسجين. فالأوكسجين الذي يتكون من ثمانية بروتونات وثمانية نيوترونات يتم تركيبه بأن تتمدد نوى الكربون والهليوم معاً.

وعند هذه النقطة، قد يعترض أحد المتشككين بأن الحجج التي من هذا النوع لا تخبرنا بأي شيء عن احتمالات الحياة، ولكنها فحسب تبرهن على مدى تعصبنا الشوفيني للكائن البشري. وقد يتساءل هذا المتشكك «كيف، أو ينبغي» أن نفترض أن الكائنات الحية يجب أن تصنع من الكربون والأوكسجين ؟ من المؤكد أنه يمكن تصور وجود أنواع أخرى من الحياة.

وهذه المحاجة تطرح رأياً له وجاهته. فنحن لا يمكن أن نكون واثقين من أنه لو كان هناك وجود لحياة في مكان آخر من الكون فإنها يجب بالضرورة أن تكون مشابهة لنا. ورغم كل ما نعرف، فإنه يمكن أن توجد حياة من نوع ما على سطح

النجوم الحمراء العملاقة. على أن تحليل تخليق الكربون والأوكسجين ليس إلا الخطوة الأولى في المحاجة التي تدعو للبرهنة على قلة احتمال الحياة. فبعد أن يتضح أن الحياة التي تتأسس على الكربون هي أمر قليل الاحتمال، سيكون من السهل مواصلة تطوير الحجج التي تبرهن فيما يبدو على قلة احتمال وجود حياة من أي نوع.

وفيما يحتمل، فإن من المعقول أن نفترض أن الحياة (من أي نوع) تعتمد على وجود النجوم. فبدون النجوم، لن يكون هناك ضوء ولا حرارة، وأغلب الاحتمال أنه لن يكون هناك سريان للطاقة من مكان لآخر على نحو له أهميته. وبالإضافة، فإنه يكاد يكون من المؤكد أن الحياة تعتمد على وجود ذرات وعناصر غير الهيدروجين. ولن يكون من السهل تصور كائنات حية في كون لا يحوي شيئاً سوى غاز الهيدروجين، أو في كون ليس مما يحدث فيه كثيراً أن تتحد البروتونات والنيوترونات والإلكترونات لتكون المادة.

ومع كل، فإن معظم الأكوان التي يمكن تصورها لا يوجد فيها نجوم ولا ذرات. وكمثل، فإن الكتل التي للنيوترونات والبروتونات في كوننا هي قريبة جداً إحداها من الأخرى، حيث النيوترون أثقل بحوالي ١ر٠ في المائة. ولو أن هذا الاختلاف بالكتلة كان أصغر هوناً فحسب، لما أمكن أن تضمحل النيوترونات إلى بروتونات أثناء المراحل المبكرة من الانفجار الكبير. وكنتيجة لذلك كان سيوجد لدينا كون من نوع مختلف بالكلية، كون تكون فيه الأعداد النسبية للنيوترونات والبروتونات جد مختلفة. ولو كانت البروتونات هي الأثقل هوناً، لأمكن أن تضمحل البروتونات إلى نيوترونات وبوزيترونات. وكنتيجة لذلك كان سيوجد في الكون الآن عدد قليل من البروتونات أو أنها ما كانت لتوجد. وفيما يحتمل، فإنه لن يكون هناك أيضاً عدد كبير من الإلكترونات، ذلك أن الإلكترونات هي والبوزيترونات سيقوم كل منها بإبادة الآخر بالتبادل عندما يلتقي أحدهما بالآخر. وفي كون كهذا، سوف يمتلئ الفضاء بالنيوترونات، أما ماعدا ذلك من جسيمات فستكون قليلة.

ولو حدثت أهون التغيرات في شدة أي من القوى الأربع، ستظهر النتائج في كوارث مماثلة تقريباً. وكمثل، لو أن القوة القوية كانت أضعف بخمسة في المائة

فحسب، فإن الديتريوم لن يكون له وجود، حيث إن القوة القوية لن تكون بالشدة الكافية لأن تبقى النيوترونات والبروتونات ممسوكة معاً. وتكوين الديتريوم هو خطوة واحدة في سلسلة التفاعلات التي تحول بها النجوم الهيدروجين إلى هيليوم. وإذا أصبح تكوين الديتريوم من غير الممكن فإن النجوم لن تتمكن من أن تسطع.

ولو كانت القوة القوية أشد مما هي عليه بنسبة مئوية قليلة، فإن النتائج ستكون حتى أسوأ (على الأقل من وجهة نظرنا نحن). ففي هذه الحالة سيكون من الممكن تخليق جسيمات تدعى ثنائي البروتون، تتكون من بروتونين مربوطين معاً. وثنائي البروتون لا يوجد في كوننا لأن القوة القوية ليست بالشدة الكافية تماماً للتغلب على التنافر الكهربائي بين البروتونين المشحونين بشحنة موجبة. ولو حدث ووجدت بالفعل ثنائيات البروتون، فإن النجوم لن تحرق الهيدروجين بمعدل بطيء ثابت كما تفعل في كوننا. وعلى العكس من ذلك، فإن تركيزات غاز الهيدروجين سوف تؤدي إلى انفجارات نووية كارثية، وسوف تُنفث النجوم ممزقة قبل أن تستطيع أن تتكون. وبالإضافة، فحيث إن الهيدروجين يمكن أن يدخل بسهولة بالغة في تفاعلات نووية، فإن الكون كان سيتكون كله تقريباً من الهليوم.

ولو كان هناك أهون اختلاف في شدة القوى الضعيفة أو الكهرومغناطيسية أو الجذبوية فإن النتيجة ستكون أيضاً كوناً غير مواتٍ للحياة. وبعض الأكوان الممكنة هكذا لا يوجد فيها ذرات. والبعض الآخر سيمتلئ فضاؤه بالنيوترونات، أو بلا شيء سوى غاز الهيدروجين أو الهليوم. بل وستكون هناك أكوان أخرى لا تتشكل فيها نجوم، أو أن النجوم ستحترق سريعاً بحيث لا يكون هناك قط أية فرصة لأن تنشأ الحياة. بل ويمكن أن نتصور أكواناً غير مواتية للحياة لأن لها خواص بعدية غير مناسبة. وكمثل، فلو كان للمكان بعدان فقط، فإن خلق الحياة يكون في أقل ما يقال مشكلة. فلن يكون من الممكن مثلاً أن يحوز الحيوان جهازاً هضمياً يجري من أحد أطرافه للآخر، فممر له هذا المسار سوف يشق الحيوان في جزئين. ولو كان للمكان أربعة أبعاد، لن يمكن أن توجد مدارات مستقرة للكواكب. ومن الممكن البرهنة رياضياً على أنه لو تكونت بالفعل كواكب في فضاء كهذا فإنها سوف تندفع لولبياً لداخل الشمس.

المبدأ الإنساني القوي والضعيف:

ما الذي يمكن بالضبط أن نستنتجه من حقيقة أننا نعيش في كون قليل الاحتمال إلى هذا الحد البالغ؟ إن المبدأ الإنساني يمثل محاولة لمعالجة هذا السؤال. وهو مما يمكن أن يصاغ في شكلين. فالمبدأ الإنساني الضعيف الذي صاغه الفيزيائي البريطاني براندون كارتر هو كالتالي: «إن ما يمكننا أن نتوقع ملاحظته يجب أن يكون مقيداً بالظروف الضرورية لوجودنا كملاحظين». وبكلمات أخرى، لو أن الكون ليس له الخواص التي له، لما كنا موجودين هنا لنراه.

والمبدأ الضعيف يبدو وكأنه حشو كلام. ومع ذلك، فلو كان الكون ليس له هذه الخصائص لما وُجد أحد هنا ليناقش الأمر (أو ليطرح أي مبادئ إنسانية ضعيفة). على أن هذه المقولة ليست فارغة تماماً من المحتوى كما قد يظن المتشككون. وهي فيما يبدو تمد بتفسير لحقيقة أننا موجودون في عهد يصل عمر الكون فيه إلى زمن قدره بين عشرة وخمسة عشر بليون سنة.

ونشأة الحياة تتطلب قدراً معيناً من الوقت. وأول خطوة لذلك هي تركيب العناصر التي تتأسس عليها الحياة، ومعظم هذه العناصر لا تتخلق في الانفجار الكبير. فالعمليات التي جرت في الكون المبكر لم يتكون فيها إلا مقادير ضئيلة من العناصر الأثقل من الهليوم. فهذه العناصر لا يمكن تخليقها بكميات لها قدرها إلا في التفاعلات النووية التي تحدث في الأجزاء الداخلية من النجوم.

وأول نجوم تكونت في الكون لم تكن تحوي إلا القليل بخلاف الهيدروجين والهليوم. أما العناصر الأثقل بما فيها الكربون والأوكسجين والنيتروجين والعناصر الأخرى الضرورية للحياة فقد ظلت تتخلق عبر مئات الملايين من السنين في الأجزاء الداخلية من النجوم الضخمة. وعندما حان الوقت، انفجرت هذه النجوم كسوبر نوفات، وانتشرت هذه العناصر خلال الفضاء، وأدمجت هذه العناصر في النجوم الجديدة، وفي الكواكب التي تكونت من حولها.

وعملية كهذه قد استغرقت ولا بد بلايين السنين، ولكن هذه لم تكن سوى البداية. وقبل أن يصبح خلق الحياة في الإمكان، كان لا بد وأن تبرد الكواكب التي تكونت حديثاً. وفي النهاية، عندما أتت الحياة بالفعل إلى الوجود، فإنها لم تكن قد بدأت بعد في التطور. ومن الصعب تصور أنه يمكن أن يوجد ملاحظون أذكياء في

كون عمره أصغر كثيراً من عمر كوننا.

ويعترف الجميع بأن المبدأ الإنساني الضعيف يمكن استخدامه كأساس للمحاجات التي من هذا النوع. ورغم ذلك فإنه يبدو له بالفعل سمة غريبة، تخالف حقاً كل المبادئ العلمية الأخرى التي نلقاها. وحسب نظرية هاينز باجلز فإن هذا الاختلاف يلفت الأنظار تماماً. ويحاج باجلز بأن المبدأ الإنساني الضعيف ليس بمبدأ على الإطلاق، وذلك على أساس أنه مما لا يمكن تفنيده.

وباجلز يشير بهذا النقد إلى فكرة ذات نفوذ طرحها في ١٩٣٤ فيلسوف العلم النمساوي - البريطاني كارل بوبر. وحسب بوبر فإن الفرض العلمي يجب أن يكون قابلاً للتفنيد. فما يجعل الفرض علمياً هو حقيقة أن يكون من المقبول تصور أنه يمكن إثبات خطئه. وكمثل، فإن مقولة إن الأشباح موجودة قد تكون أو لا تكون حقيقية، ولكن سواء أكانت حقيقة أم لم تكن فإنها ليست فرضاً علمياً لأنها لا تقبل الدحض. ونظرية آينشتين عن النسبية العامة هي من الناحية الأخرى نظرية علمية لأنها تخضع تنبؤات يمكن اختبارها بالتجربة. وإذا حدث وناقضت التجربة تنبؤات النظرية، فإنه يمكن القول بأن النظرية قد فندت.

ولنلاحظ أن اختبار بوبر لا علاقة له بما إذا كان الفرض صحيحاً أم لا. فهو ببساطة تعريف لما يكون «علمياً» وما لا يكون. ونقطة باجلز هي أننا لو تقبلنا هذا التعريف، فسيكون علينا أن نستنتج أن المبدأ الإنساني الضعيف ليس «علمياً». وكما يبدو فإنه ليس من الممكن تصوّر أي سبيل لدحضه.

وأنا أميل للاعتقاد بأننا يجب أن نتفق وباجلز في هذه النقطة. وكنتيجة لذلك، لن يكون من السهل أن نقرر ما الذي نستنتجه من المبدأ الضعيف. فهو قد يكون كما يزعم بعض الفيزيائيين من المفاهيم المفيدة، أو قد يكون كما يقول النقاد مثل باجلز، مجرد مبدأ يخبرنا بما نعرفه من قبل (وهو أننا موجودون)، وهي فكرة لا تزيد عن أن تكون نوعاً من «نرجسية كونية». وإذا كان هذا هو كل ما هنالك في هذا المبدأ، فكيف يمكن بأي احتمال أن نستخدمه لتفسير أشياء من مثل معرفة السبب في أن الكون ينبغي أن يكون له العمر التقريبي الذي له ؟.

وإذا كان من الممكن أن يصبح المبدأ الضعيف مشكلة صعبة الحل، فإن المبدأ الإنساني القوي لأسوأ حالاً من ذلك. والمبدأ القوي قد صاغه كارتر كالتالي:

«الكون يجب أن يكون بحيث يسمح بخلق الملاحظين فيه عند وضع معين». وبكلمات أخرى، فإن الكون الذي ليس فيه إمكان لخلق الحياة هو كون مستحيل.

ونحن قد نتفق أو لا نتفق مع باجلز حول الطبيعة اللاعلمية للمبدأ الضعيف. أما في حالة المبدأ القوي فيبدو أن من المستحيل مجرد أن نجادل حول لا علميته. فمن الواضح أن المبدأ الإنساني القوي فيه من التضمينات الميتافيزيقية ما هو أكثر مما ينبغي، وهو مما لا يمكن بأي احتمال أن يعد مبدأ «علمياً».

وإذا سألنا «لماذا» لا يمكن أن يأتي إلى الوجود إلا أكوان لها إمكانية تخليق الملاحظين، فسيبدو أن ليس هناك سوى إجابتين محتملتين عن ذلك. فالكون إما أنه قد تم تصميمه بحيث يكون مواتياً للحياة، أو أن الملاحظين الذين ينشئهم الكون هم على نحو ما مسؤولون عن الإتيان به للوجود.

والاحتمال الأول يبدو كشكل من أشكال محاجة تصميم الكون، وهي محاجة كانت جد شائعة في وقت ما، ولكنها لم تعد بعد مما يستخدم على نطاق واسع. ويرى الكثيرون من الدارسين أنها قد تم دحضها على يد فيلسوف القرن الثامن عشر إيمانويل كانت الألماني.

أما الاحتمال الثاني، وهو أن الملاحظين الواعين يشاركون على نحو ما في الإتيان بالكون إلى الوجود، فهو احتمال يبدو فيه ما يذكّر بعض الشيء بالمذهب الفلسفي المثالي الذي ينادي بأن الجوهر الأساسي للكون هو الذهن، وأن العالم الفيزيقي هو أساساً أقل حقيقة. وهناك أنواع كثيرة مختلفة من المثالية، وربما يكون تعريفي غير منصف لأي منها. على أنني أعتقد أن من الواضح أن هذا التفسير للمبدأ القوي هو مما يجب أن يعد نوعاً من المثالية العليا. ومع كل فإنه يتضمن، لا فحسب أن الوعي حقيقي أكثر من الواقع المادي، ولكنه يتضمن أيضاً أن الوعي يلعب دوراً مهماً في خلق الواقع المادي.

وقد يكون هناك أيضاً طريقة محتملة ثالثة لتفسير المبدأ القوي. وإذا كان لنا أن نعيد صياغته بأن نقول إن «الكوزموس» ينبغي أن يكون بحيث يسمح بخلق الملاحظين، فسوف يمكننا تفسيره بأنه يعني أنه لا بد من وجود عدد لامتناه من الأكوان بعضها موات للحياة. على أني يجب أن أقول إني أكره هذا التفسير المحتمل أكثر مما أكره التفسيرين الآخرين. فهو يتخذ فرض وجود أكوان أخرى،

وهذا في أغلب الاحتمال أكثر الفروض لاعلمية (لأنه لا يقبل التفنيد)، ثم يضيع هذا الفرض في ثوب ميتافيزيقي.

الفيزياء (الفيزيقا) والميتافيزيقا:

اشتهر الكثيرون من العلماء بازدرائهم للفلسفة. وهذه الشهرة هي أحياناً مما يجدر بهم حقاً. وكمثل، فإن الفيزيائي التجريبي البريطاني العظيم آرنست روذرفورد علق يوماً بقوله إنه يعتبر الفلسفة في أيامه هي «كلام فارغ» كثير. وبالطبع فإن المقصود هو أن روذرفورد ليس بالذي يجلس في كرسي ذي مسند ليتفكر فيما يكون عليه العالم، ولكنه يجري التجارب التي سوف تحدد ما للعالم حقاً من خصائص.

ولعل موقف روذرفورد فيه تعصب شوفيني، على أن له ما يبرره إلى حد ما. فروذرفورد قد أنجز أهم أعماله في أوائل القرن العشرين، في وقت كان الفلاسفة فيه أخذوا يتخلون عن طرح المذاهب التي تحيط بكل شيء، وأخذوا يحولون انتباههم إلى أمور من مثل منطق القضايا، ومنطق العلم التجريبي.

ومن الناحية الأخرى فإن الفيزيائيين في عهد روذرفورد كانوا يحققون قدراً كبيراً من المعرفة الجديدة. وبالإضافة، فإنها فيما يبدو كانت معرفة ذات دلالات مباشرة إلى حد كبير. وكمثل، فعندما اكتشف روذرفورد نواة الذرة لم تكن هناك ضرورة للتفكير بحيرة فيما يعنيه ذلك. لقد برهنت التجربة على أن الشحنة الموجبة للذرة تتركز في منطقة صغيرة جداً في مركز الذرة، سميت «النواة».

أما الآن، فقد اختلفت الأمور تماماً. ولم يعد يبدو أن من الممكن إجراء أبحاث على تخوم العلم دون مجابهة أسئلة كانت تعد ذات يوم أسئلة ميتافيزيقية. ووجد الفيزيائيون أنفسهم يسألون أسئلة من مثل، هل مما له معنى أن نتحدث عن زمان ما قبل بدء الكون ؟ هل للكون بداية ؟ وإذا كان له بداية، هل ثمة ما يقال عنه إنه كان «من قبلها» ؟ أو أن الزمان قد أتى للوجود مع الكون نفسه ؟ ما هو بالضبط الوضع المنطقي «للأكوان الأخرى» إذا كانت هذه الأكوان مما لا يمكن رصده ؟ أيمكننا عندها أن نقول إنها «موجودة» حقاً ؟ وإذا كان لا يمكننا قط أن نرى الثقوب الدودية التي تصل بين كوننا والأكوان الأخرى، هل يمكننا حقاً أن نتكلم، كما

يتكلم هوكنج، عن جسيمات تكتسب الكتلة بأن تمر من خلال هذه الثقوب الدودية ؟ أيكون هناك معنى لأن نتكلم عما لا يمكننا ملاحظته ؟ أو أن هذا هو فحسب نوع من تفسير زائف ؟ وفيما يتعلق بذلك، ما المعنى الذي ينبغي أن ننسبه لوجود أبعاد إضافية للمكان هي مضغوطة في أبعاد جد دقيقة في صغرها بحيث لا يمكننا قط أن نلاحظها ؟ وإذا كان الأمر، كما تطرحه بعض نظريات الأوتار الفائقة، وهو أن هذه ليست أبعاداً حقيقية، فما الذي يمكننا استنتاجه من ذلك ؟ وأخيراً، إذا كانت هناك نظرية لم تختبر، وليست فيما يحتمل مما يمكن اختباره، وتحوي متغيرات رياضية لا يمكن لأحد أن يفسرها، فما الذي بالضبط يقوله هذا «بالفعل» بالنسبة لمفهومنا عن الواقع الفيزيقي ؟.

إن هذه كلها أسئلة تثير الحيرة. على أن هناك فيما يحتمل سؤالاً آخر هو أكثر أهمية وهو يحوم فوق كل تلك الأسئلة، سؤال يتعلق بالصدع الذي يتنامى ما بين النظرية والتجربة.

فنحن لدينا في مجال علم الكونيات نموذج معقول جداً لكون انتفاخي، يبدو أنه يفسر كل القسمات الرئيسية للكون. إلا أنه لا ينتج عنه سوى تنبؤات قليلة مما يمكن اختباره. ولو طبقنا معيار بوبر عن القابلية للتفنيد، فإن هذا النموذج لا يكاد يبدو «علمياً».

أما في مجال فيزياء الجسيمات، فنحن نلاقي موقفاً أكثر تطرفاً. فقد أخذ الكثيرون من أفضل علماء الفيزياء النظرية في العالم يشغلون أنفسهم بما يكاد يكون مقصوراً على نظرية الأوتار الفائقة، وهي نظرية لم تنتج قط أي تنبؤ واحد قابل للاختبار، ولا يبدو أنها قادرة على صنع ذلك في أي وقت من المستقبل المنظور. هل يمكننا حقاً أن نسمي هذا بأنه «علم» ؟ أو أن جلاشو كان مصيباً عندما طرح أن هذا نشاط مماثل للاهوت العصور الوسطى ؟.

لقد أمكن في وقت ما أن يطلق روذرفورد على الفلسفة أنها (كلام فارغ). وإني لأتساءل عما كان سيظنه بشأن الموقف الحالي في الفيزياء لو أنه كان حياً. ها نحن الآن وقد أصبحت الحدود ما بين الفيزياء والميتافيزيقا غير واضحة. والأسئلة التي كانت تعد في عصر آخر أسئلة ميتافيزيقية تدخل الآن في المناقشات عن أصل الكون، وأصبح الفيزيائيون يتحدثون عن المبادئ الإنسانية التي يبدو أحياناً أنها

فلسفية أكثر منها علمية. وفي نفس الوقت، ثمة نظريات تشمل كل شيء يتم طرحها وينتج عنها استنتاجات لا يمكن التحقق منها، وتبدو مشابهة للمذاهب الميتافيزيقية التي كان يطرحها باستمرار فلاسفة القرن التاسع عشر.

وقد وجد بعض الفيزيائيين المبرزين أن هذا الموقف فيه ما ينذر. وأحسوا أن الفيزياء تنجرف بعيداً عن أساسها التجريبي، وأنها أخذت تتحول إلى شيء ما غير العلم. وقد رأينا مثلاً أن بعض نقاد نظرية الأوتار الفائقة كانوا عنيفين للغاية في شجبهم للعلماء المنظرين الذين يتابعون إلى ما لا نهاية أفكاراً غير قابلة للاختبار.

مستقبل الفيزياء:

لست أفترض أني أنادي بأن أعضاء هذا المعسكر أو الآخر هم المصيبون. ولعله من الأمور المحتمة أن تصبح الفيزياء في يومنا علماً أقل اتصافاً بالتجريبية، وأن النظر بالتخمين هو مما ينبغي أن يتخذ أحياناً سمة ميتافيزيقية. وثمة قيود على ما يمكن إجراؤه من تجارب: وكمثل، فإن هناك قيوداً عملية على حجم المعجلات التي يمكن بناؤها، وبالطبع فإنه ما من حكومة ستوفر النفقات بلا حدود لبناء المعجلات. وما يجري من محاولات لسبر بنية المادة سبراً أعمق وأعمق، هو مما يلزم أن يتوقف عند الوصول إلى نقطة معينة، وعندما يصل التجريب إلى أقصى حدوده، فإن النظرية فقط هي التي يمكن أن تتقدم لنقط أبعد من ذلك.

وقد كانت دراسة العالم الطبيعي في وقت ما جزءاً من الفلسفة. فنحن نجد مناقشات لمسائل من علم الكون في محاورات أفلاطون، وثمة تحليلات عديدة للظواهر الطبيعية في كتب أرسطو. وعندما بدأ العلم الحديث في القرن السادس عشر، استولى على مسائل كانت تقع فيما مضى في نطاق الفلسفة. وهكذا فليس مما يدهشنا أن نقرأ كتب جاليليو فنكتشف أن من الظاهر أنه لم يكن يكتفي بأن يطرح فحسب نظرياته ونتائج تجاربه، وإنما كان عليه أن يدخل في معارك مع أتباع التعاليم الأرسطية.

وبمرور القرون، اتسعت موضوعات العلم باطراد بينما تقلصت موضوعات بحث الفلسفة. وإذ حل النصف الأخير من القرن العشرين، أصبح العلماء يسألون أسئلة عديدة كانت ذات وقت تعدّ أسئلة ميتافيزيقية بالكامل. وكمثل، يتساءل

الفيزيائيون عن مسائل مثل، ما هو الزمان ؟ من أين أتى الكون ؟ هل من الممكن تخليق شيء من لا شيء ؟ بل إن بعضهم استدعوا المبادئ الإنسانية في محاولة للتساؤل عما يمكن استنباطه من حقيقة وجودنا، إن كان هناك ما يستنبط منها. والفيزياء ليست هي المجال الوحيد الذي وقعت فيه هذه التطورات. ولنستشهد بمجال واحد فحسب من مجالات البحث الأخرى، وهو علم الإدراك، حيث العلماء يسألون فيه أسئلة من مثل، ما هو الذهن، وما هي الإرادة الحرة ؟ بينما هم ينظرون بالتخمين في طبيعة الوعي ويتساءلون عما إذا كان يمكن تخليق ذكاوات صناعية.

ولعل هذا النوع من التطور أمر محتوم. وفيما يبدو فإن هناك أسئلة أساسية معينة قد يكون لها إجابة وقد لا يكون، وهي أسئلة يصر البشر رغم ذلك على أن يسألوها. ولعله ليس مما يدهش أن بعض الأفراد العاملين في مجالات الفيزياء وعلم الكونيات يحاولون الآن بما ينبغي أن يدخلوا في صراع مع هذه الأسئلة.

معجم

الصفر المطلق: Absolute Zero

أدنى درجة حرارة ممكنة تتوقف عندها كل حركة للجزئيات. وهي -٢٧٣°م.

المبدأ الإنساني: Anthropic Principle

لا بد وأن يكون للكون خواص معينة إن كان للكائنات الذكية أن توجد لتدركه. والمبدأ الإنساني (الذي يوجد في شكلين مختلفين) يمثل محاولة لاستنباط حقائق معينة عن الكون من حقيقة إننا موجودون.

ضديد المادة (انظر ضديد الجسيم) Antimatter

ضديد الجسيم: Antiparticle

كل جسيم يوجد له ضديد جسيم. وعندما يتلامس أحد الجسيمات وضديده فإن أحدهما يبيد الآخر في تبادل وتنتج طاقة. والمادة الضديدة، التي لم يحدث أن تم رصد وجودها في الطبيعة، ستكون نوعاً من المادة المصنوعة من ضديدات الجسيمات.

الكون الطفل: Baby Universe

حسب نظريات معينة تتسم ببالغ التخمين، قد تتوالد الأكوان (بما فيها كوننا نحن) توالداً ذاتياً بنوع من عملية تبرعم. والكون الطفل سيكون واحداً من هذه «البراعم» التي تكونت حديثاً.

كرات جدارية (انظر المناطق وحدود المناطق) Balls of wall

باريونات: Baryons

جسيمات ثقيلة مثل النيوترونات والبروتونات. وتوجد أنواع أخرى من الباريونات ولكنها تلاحظ فقط في المعمل.

المادة الباريونية: Baryonic matter

مادة مصنوعة من الباريونات (أي النيوترونات والبروتونات)، وبكلمات أخرى فهي المادة «العادية» في عالم حياتنا اليومية.

الانفجار الكبير:
Big bang

يعتقد العلماء أن الكون قد بدأ في حالة انضغاط شديد وحرارة عالية جداً. والتمدد الانفجاري الذي حدث بداية من هذه الحالة يعرف بالانفجار الكبير.

الانسحاق الكبير:
Big crunch

لا يعرف بعد إذا كان تمدد الكون سوف يبطئ ثم ينعكس. وإذا حدث وبدأت هكذا حالة من التقلص، فإن الكون في النهاية قد يدمر نفسه في انسحاق كبير. وهذا هو النقيض للانفجار الكبير.

الثقب الأسود:
Black hole

الثقب الأسود هو البقية المنضغطة لنجم ميت، وتكون الجاذبية فيه قوية جداً بحيث لا يستطيع شيء الفرار منه ولا حتى الضوء. (انظر أيضاً أفق الحدث).

البوزون:
Boson

جسم ينقل قوة. وكمثل، هناك الميزونات التي تنقل القوة التي تربط النيوترونات والبروتونات معاً في نوى الذرات؛ وهناك الفوتونات التي تنقل القوة الكهرومغناطيسية؛ والجلونات المسؤولة عن القوى التي تربط الكواركات معاً.

سيناريو من أسفل لأعلى:
Bottom - up senario

نظرية عن تكوين المجرات حيث تتكون المجرات أولاً، ثم تتكون بعد ذلك التكتلات الأكبر مثل تجمعات المجرات والتجمعات الفائقة للمجرات. (انظر أيضاً سيناريو من أعلى لأسفل).

الانتفاخ الفوضوي:
Chaotic inflation

مفهوم أدخله الفيزيائي الروسي أندريا لند يجمع ما بين نظرية الكون الانتفاخي وفكرة الأكوان التي تتوالد ذاتياً. وبالطبع فإن الفكرة تتسم بالتخمين البالغ. (انظر الكون الطفل والتمدد الانتفاخي).

الكون المغلق:
Closed universe

كون متناه حيث المكان ينغلق على نفسه. ورغم أنه كون متناه، إلا أنه بلا حدود.

وفي هذا الكون يصل تمدد المكان في النهاية إلى التوقف ويتبع ذلك طور من التقلص. (انظر أيضاً الكون المسطح والكون المفتوح).

المادة المظلمة الباردة (انظر المادة المظلمة)
Cold dark matter

بقاء الطاقة:
Conservation of energy

حسب هذا المبدأ الذي نشأ أثناء القرن التاسع عشر، فإن الطاقة لا يمكن أن تستحدث ولا أن تفنى، وإنما يمكن فحسب تغييرها من شكل للآخر. ومعادلة آينشتين الشهيرة $E=mo^2$ (الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) قد كشفت عن ثغرة في هذا المبدأ، فالمادة والطاقة يمكن أن تتحول إحداهما للأخرى.

Cosmic microwave background radiation.

إشعاع خلفية الكون الميكروويفي:

خلفية من موجات الميكروويف تسقط باستمرار على الأرض من كل اتجاه في الفضاء. وإشعاع الخلفية هذا هو بقية من الإشعاع الذي بُث في الانفجار الكبير.

الوتر الكوني:
Cosmic string

قد تكون هناك صدوع في تكوين المكان ـ الزمان هي مما يماثل على وجه التقريب الصدوع التي في بلّورة كالماس مثلاً. وهذه الصدوع قد تكون سمتها كالسن المدبب، أو قد تكون ذات بعد واحد أو بعدين. والوتر الكوني صدع من بعد واحد. وهذه الصدوع، لو وجدت، ستكون ثقيلة الوزن جداً. وهكذا فإنها قد تكون «البذور» التي تتكون المجرات من حولها (انظر أيضاً القطب المغناطيسي الآحادي، وحدود المنطقة).

الثابت الكوني:
Cosmological constant

ثابت أدخله آينشتين على معادلته عن الجاذبية. وهو ما يطلق قوة كونية جاذبية أو متنافرة تتخلل الكون كله. والثابت الكوني ينبغي نظرياً أن يكون كبيراً جداً. أما في الواقع فهو إما صفر، أو قريب من الصفر بحيث لا يمكن قياسه. والحقيقة أن العلماء لا يفهمون السبب في أن الحال هي هكذا.

المكان (الفضاء) المنحني:
Curved space

حسب نظرية النسبية العامة لآينشتين فإن المكان منحنٍ. ومن الواضح أن المكان لا

يمكن أن ينحني بالطريقة نفسها التي ينحني بها شيء مادي. وما يعنيه المصطلح هو أن هندسة المكان لا تطابق بالضبط الهندسة الأقليدية «المسطحة» التي نتعلمها في المدارس الثانوية. وكمثل فإن مجموع زوايا المثلث في المكان المنحني لا يصبح بعداً مساوياً بالضبط لمائة وثمانين درجة.

المادة المظلمة: Dark matter

ثبت أن ٩٠ في المائة على الأقل من كتلة الكون موجودة في شكل مادة مظلمة غير مضيئة لا يمكن رصدها من خلال التليسكوبات. والعلماء ليسوا واثقين بعد بشأن ما تتكون منه المادة المظلمة. وهناك احتمالان هما: أنها مصنوعة من جسيمات خفيفة، مثل جسيمات النيوترينو، أو أنها مصنوعة من جسيمات ثقيلة نسبياً من أحد الأنواع أو الآخر. والجسيمات الأولى كثيراً ما يشار إليها على أنها مادة مظلمة ساخنة لأنها ستكون قد انبثقت من الانفجار الكبير بسرعات كبيرة، بينما تسمى الجسيمات الأخيرة بالمادة المظلمة الباردة لأنها ستكون مما يتحرك ببطء أكثر.

الديتريوم: Deutrium

شكل من الهيدروجين تتكون فيه النواة من بروتون ونيوترون بدلاً من بروتون وحيد. ومصطلح «الديتريوم» يستخدم أيضاً بشيء من التساهل ليشير إلى نوى الديتريوم التي لم تتحد مع إلكترونات لتكون ذرات.

ثنائي البروتون: Diproton

جسيم نظري يتكون من بروتونين. وثنائي البروتون لا وجود له لأن التنافر الكهربائي بين بروتونين يكون تنافراً قوياً جداً. على أنه يمكن وجوده لو كان التنافر أضعف قليلاً، أو لو كانت القوة القوية التي تربط البروتونين معاً أقوى قليلاً.

المناطق وحدود المناطق: Domains and domain boundaries

حد المنطقة، الذي يعرف أيضاً بجدار المنطقة، هو صدع في المكان ـ الزمان له بعدان. والاسم يشير إلى حقيقة أن جداراً كهذا سيفصل الكون إلى مناطق مختلفة. وحسب إحدى النظريات الحديثة، قد تتكسر هذه الجدران إلى كرات جدارية يمكن أن تمد «بالبذور» لتكوين المجرات.

إلكترون فولت: Electron volt

وحدة الطاقة اللازمة لدفع أحد الإلكترونات عبر فارق جهد من فولت واحد. ولما

كانت هذه وحدة صغيرة جداً بما يجعلها لا تستعمل كثيراً، فإن الأكثر شيوعاً في الاستعمال هو وحدات من مثل مي ف، وجي ف.

القوة الكهرضعيفة (انظر القوى) Electroweak force

مستوى الطاقة (منسوب الطاقة): Energy level

حسب ميكانيكا الكم، لا تحوز الإلكترونات التي في الذرات إلا مقادير معينة محددة من الطاقة، وهي لا تستطيع أن تحوز أي مقادير مما بين ذلك. ومستويات الطاقة موجودة أيضاً في النوى، حيث تحوز النيوكليونات أيضاً طاقات معينة (انظر أيضاً وثبة الكم).

أفق الحدث: Evenhorizon

سطح كروي للثقب الأسود. ولا شيء مما يدخل أفق الحدث يمكن له قط أن يخرج ثانية، وذلك بسبب جاذبية الثقب الأسود.

الفرميون: Fermion

جسيم من المادة. والإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات كلها فرميونات.

الكون المسطح: Flat universe

كون حيث متوسط انحناء المكان هو صفر. وفي هذا الكون أيضاً يكون المكان لامتناهياً ولا يتوقف تعدد المكان قط. وهو كون يقع بالضبط على الحد الفاصل بين الكون المفتوح والكون المغلق. (انظر أيضاً الكون المغلق والكون المفتوح).

النكهات (انظر الكواركات) Flavors

القوى: Forces

ثبت أن القوى التي في الكون أربع قوى، الكهرومغناطيسية، والجاذبية، والتفاعلات النووية القوية، والتفاعلات النووية الضعيفة. والقوى الضعيفة والكهرومغناطيسية يمكن أن توصفا بأنهما مظهران لتفاعل واحد هو الكهرضعيف. ويود العلماء أن يجدوا نظرية تجمع كل القوى الأربع من داخل إطار واحد.

جي ف: Ge V.

٩١٠ إلكترون فولت. وهذا بالمصطلح الأمريكي يعني بليون إلكترون فولت. ولكن

حيث إن كلمة «بليون» يختلف معناها في الولايات المتحدة وأوروبا، فإن هذا المقدار يختصر إلى «جي ف» بدلاً من «بي ف». و«جي ف» هنا ترمز إلى «جيجا» (انظر أيضاً إلكترون فولت).

الجلونات: Gluons

جسيمات القوة التي تربط الكواركات معاً. (انظر أيضاً البوزون).

النظريات الموحدة الكبرى: Grand unified theories (GUTs)

نظريات تحاول أن توحد القوى الكهرومغناطيسية والقوية والضعيفة. وهي أميل إلى النظر بالتخمين، ولا أحد يعرف حقاً أيها الأكثر احتمالاً لأن تكون حقيقية، هذا إن كانت أي منها كذلك.

ظاهرة العدسة الجذبوية: Gravitational lens effect

حسب نظرية النسبية العامة لآينشتين، يمكن للجرم الثقيل مثل المجرة أن يحني الضوء بحيث تتخلق صور عديدة لأحد الأجرام البعيدة، كأحد الكوازارات مثلاً. وهذه الظاهرة قد رصدها الفلكيون.

الإشعاع الجذبوي: Gravititional radiation

الجرم الثقيل الجذبوي، مثل أحد النجوم، ينبغي أن يشع قدراً معيناً من الطاقة في شكل جرافيتونات. ورغم إجراء عدد من التجارب فإن الإشعاع الجذبوي لم يتم بعد الكشف عنه (انظر أيضاً جرافيتون).

جرافيتون: Graviton

الجسيم الافتراضي الذي يحمل قوة الجاذبية. ورغم أنه لم يتم بعد الكشف عن الجرافيتونات، إلا أن الفيزيائيين واثقون من أنها موجودة.

الجاذب الأكبر: Great attractor

تركيز هائل من الكتلة يقع بعيداً بملايين من السنين الضوئية. وهو يمارس شداً جذبوياً يسحب إليه مجرتنا درب التبانة وكل شيء آخر في منطقتنا. على أن الفلكيين لم يحددوا بالضبط كم تكون كتلة الجاذب الأكبر أو ما هي مسافة بعده.

الهادرونات: Hadrons

جسيمات تحس بالقوة القوية. ويمكن تقسيمها إلى باريونات وميزونات (انظر

أيضاً الباريونات والميزونات).

ميكانيزم (آلية) هيجز: Higgs mechanism

ميكانيزم نظري لإضفاء الكتلة على الجسيمات. وبدون ميكانيزم هيجز، فإن النظريات التي تشكل النموذج المعياري لا يمكن أن تكون صالحة للعمل. على أنه لا يوجد أي مبرر آخر لوجود هذا الميكانيزم. (انظر أيضاً النموذج المعياري).

جسيم هيجز: Higgs particle

إذا كان ميكانيزم هيجز له وجوده حقاً في الطبيعة، فإنه يجب أن يظهر نفسه في شكل ما يسمى مجال هيجز وجسيم هيجز. وجسيم هيجز لم تتم بعد رؤيته، على أن العلماء يأملون أن يرصدوه سريعاً من خلال التجارب التي ستجرى باستخدام المعجل الفائق التوصيل والاصطدام (SSC) (انظر المعجل فائق التوصيل والاصطدام).

المادة المظلمة الساخنة: (انظر المادة المظلمة) Hot dark matter

التمدد الانتفاخي: Inflationary expansion

الكون حسب هذه النظرية، قد مر بحالة من تمدد بالغ السرعة في فترة مبكرة من تاريخه. ونظرية الكون الانتفاخي توجد بأشكال عديدة مختلفة. والنظرية الأصلية قد تم نسخها بصور أخرى من النظرية فيها تنقيح أكثر، مثل السيناريو الانتفاخي الجديد ونظرية الانتفاخ الفوضوي. (انظر السيناريو الانتفاخي الجديد، والانتفاخ الفوضوي).

اللف النظيري: Isospin

أحياناً يكون من المفيد توصيف بعض الخواص المعينة رياضياً، كما مثلاً في توصيف الاختلاف بين النيوترون والبروتون. وفي بعض النظريات تعد البروتونات والنيوترونات على أنها جسيم واحد ـ هو النيوكليون ـ ولكنه جسيم يحوز كميات مختلفة من مقدار يسمى اللف النظيري. على أن اللف النظيري ليس كمية حقيقية، وهو ببساطة جزء من تكنيك ر[illegible] اه فائدته.

اللبتون: Lepton

جسيم خفيف. وهناك ستة لبتونات وهي: الإلكترون، وجسيمان [illegible]ابهان

للإلكترون هما الميون والتاوون؛ وثلاثة أصناف مختلفة من جسيمات النيوترينو، كل واحد منها يصاحب أحد الجسيمات المشابهة للإلكترون.

القطب المغناطيسي الأحادي:
Magnetic Monopole
قطب مغناطيسي منفرد شمالي أو جنوبي. والأقطاب الأحادية إن كان لها وجود، فإنها ستختلف عن كل الجسيمات الأخرى. وبمعنى ما، فإنها لا تكون جسيمات على الإطلاق، وإنما هي بالأحرى تصدعات أو أوجه خلل في الزمان ـ المكان في شكل سن مدبب. ولم يتم بعد رصد الأقطاب المغناطيسية الأحادية.

مي ف:
Me v
مليون إلكترون فولت. (انظر أيضاً إلكترون فولت)

الميزونات:
Mesons
جسيمات تربط البروتونات والنيوترونات معاً في النوى. والميزون يتكون من كوارك وضديد كوارك. وقد تم رصد أنواع كثيرة مختلفة منها، ولكن الباي ميزون أو البيون هو الأكثر شيوعاً في رؤيته. (انظر أيضاً البيون).

موجات الميكروويف:
Microwaves
موجات راديو قصيرة في أطوالها. (انظر أيضاً إشعاع خلفية الكون الميكروويفي).

ميزون ميو:
Mu meson
اسم للميون بطل استخدامه (وهو في الحقيقة ليس ميزوناً). (انظر الميون).

الميون:
Muon
لبتون له خواص مماثلة لخواص الإلكترون، ولكنه أثقل منه ٢٠٧ أمثال. والميونات ليست أحد مكونات المادة العادية، فهي لا ترصد إلا في المعمل.

جسيمات النيوترينو:
Neutrinos
هذه جسيمات خفيفة جداً وغير مشحونة. ولا يعرف ما إذا كانت كتلتها هي بالضبط صفر، أو أن مقدار هذه الكتلة صغير جداً بحيث لا يمكن قياسه. وإذا كانت جسيمات النيوترينو كتلتها صفر، فإنها يجب أن تنتقل إذن بسرعة الضوء حسب نظرية آينشتين للنسبية الخاصة. وهناك ثلاثة أنواع من جسيمات النيوترينو: نيوترينو الإلكترون، ونيوترينو الميون، ونيوترينو التاوون. (انظر أيضاً الميون والتاوون).

تذبذب النيوترينو:
Neutrino osillation
إذا كانت كتلة جسيمات النيوترينو لا تساوي صفراً بالضبط، فإنه ينبغي أن يكون ممكناً لجسيمات النيوترينو التي من أحد الأنواع أن تتحول إلى جسيمات النيوترينو التي من نوع آخر. وكمثل، فإن جسيمات نيوترينو الإلكترون قد تتغير تلقائياً إلى جسيمات نيوترينو التاوون، ثم تتغير ثانية لتعود كما كانت. ولما كانت هذه التغيرات ستحدث فيما يفترض في كلا الاتجاهين فإن هذه الظاهرة الافتراضية تعرف بتذبذب النيوترينو.

السيناريو الانتفاخي الجديد:
New inflationary scenario
نسخة محسنة للنظرية الأصلية للكون الانتفاخي أنشئت خصيصاً لتجنب مشاكل معينة جابهتها النظرية الأصلية. وكلتا النظريتين تنظر إلى التمدد الانتفاخي بنفس الطريقة إلى حد كبير. (انظر أيضاً التمدد الانتفاخي).

الكون المفتوح:
Open universe
كون انحناء المكان فيه بحيث لا ينغلق الكون على نفسه. وهكذا فإن الكون المفتوح لامتناه في امتداده. وهو يختلف عن الكون المغلق في أن تمدد المكان لا يبطئ قط ليصبح صفراً. (انظر أيضاً الكون المغلق والكون المسطح).

مبدأ الاستبعاد لباولي:
Pauli exclusion principle
هذا مبدأ قرره أصلاً الفيزيائي النمساوي ولفجانج باولي، وهو يقول إنه ما من إلكترونين في أحد الذرات يمكن أن يكونا في نفس الحالة من الطاقة. وقد وُسع من هذا المبدأ بعدها ليشمل كل الفرميونات أو كل جسيمات المادة. ويتضمن المبدأ أيضاً أنه إذا كان هناك فرميونان في نفس الحالة من الطاقة، فإنهما لا يمكن الإتيان بهما ليكونا قريبين جداً معاً.

الحركة الخصوصية:
Peculiar Motion
عنصر في حركة المجرات لا يمكن إرجاعه إلى تمدد الكون.

نظرية الاضطراب:
Perturbation theory
المعادلات الرياضية التي يستخدمها العلماء كثيراً ما تكون بالغة التعقيد بحيث لا

يمكن حلها حلاً مضبوطاً. ونظرية الاضطراب هي منهج للحصول على حل تقريبي.

التحول الطوري: Phase transition

تحول من إحدى حالات المادة إلى حالة أخرى. ومثال ذلك ذوبان كتلة من الثلج أو غليان الماء. وفي هاتين الحالتين يتغير الثلج (الجامد) إلى الماء (السائل)، ويتغير الماء (السائل) إلى البخار (الغاز). والمجالات الكمية التي تتخلل كل الفضاء يمكنها نظرياً أن تخضع هي أيضاً لتحولات طورية، فتتغير تلقائياً من إحدى حالات الطاقة إلى الأخرى وهذه التحولات الطورية ربما تلعب دوراً مهماً في تطور الكون.

الفوتونات: Photons

هي جسيمات الضوء. والضوء حسب نظرية الكم، يمكن أن ينظر إليه على أنه موجات أو على أنه تيارات من الجسيمات. والفوتونات هي أيضاً الجسيمات المسؤولة عن القوة الكهرومغناطيسية. وكمثل، فإن تبادل الفوتونات التقديرية هو الذي يسبب أن تتجاذب الجسيمات المشحونة كهربياً أحدها مع الآخر أو أن تتنافر. (انظر أيضاً الجسيم التقديري).

البيون: Pion

البيون أحياناً يسمى أيضاً «باي ميزون»، وهو يتكون من كوارك وضديد الكوارك. والبروتونات والنيوترونات التي تكون نوى الذرات تبث البيونات وتمتصها باستمرار. وهذا التبادل للجسيمات هو ما يجعلها تتماسك معاً.

البوزيترون: Positron

ضديد جسيم الإلكترون. وله نفس كتلة الإلكترون إلا أن له شحنة كهربية موجبة بدلاً من السالبة. وعندما يلتقي بوزيترون وإلكترون أحدهما مع الآخر، تكون النتيجة إبادة متبادلة. وتتحول كتلة الجسيمين إلى طاقة، ويظهر مكانهما شعاعان من أشعة جاما.

النابض: Pulsar

بقية من احتراق نجم مضغوطة ضغطاً شديداً وتدور سريعاً، وتبث موجات راديو في اتجاه معين. وإذا حدث لحزمة موجات الراديو أن مرت كاسحة عبر الأرض

(مثلما يحدث لحزمة من أشعة ضوء كشاف إذ تمر كاسحة عبر إحدى السفن)، فإنه يتم رصد نبضات من طاقة الراديو.

ديناميكا اللون الكمية: Quantum chromodynamics (Q C D)

النظرية التي تفسر سلوكات الكواركات. وحسب هذه النظرية يكون للكواركات خاصية تعرف باللون، هي مما يماثل الشحنة الكهربائية. والكواركات ذات الألوان المختلفة تتبادل جسيمات تسمى الجلونات. وهذه التبادلات ينشأ عنها قوة شد. وكلمة «الكمية» تشير إلى حقيقة أن ديناميكا اللون الكمية تتأسس على ميكانيكا الكم، بينما كلمة «اللون» في «ديناميكا اللون» هي إشارة إلى الدور الذي تلعبه شحنة اللون.

الإلكتروديناميكا الكمية: Quantum electrodynamics (Q E D)

النظرية التي تفسر طبيعة القوة الكهرومغناطيسية. وحسب هذه النظرية، فإن التجاذب والتنافر الكهربائي ينتجان كلما قامت الجسيمات المشحونة بتبادل الفوتونات. (انظر أيضاً الفوتونات).

الوثبة الكمية: Quantum jump

الإلكترونات التي في الذرات لا يمكن أن تحوز إلا كميات معينة محددة من الطاقة. وعندما يجري للإلكترون الانتقال من أحد مستويات الطاقة إلى مستوى آخر، يقال إنه قد جرى له وثبة كمية. وهو عندما يثب من حالة عليا إلى حالة دونها، يحدث عموماً أن يبث فوتوناً (فالطاقة التي يطلقها الإلكترون يجب أن تذهب إلى مكان ما). وهو عندما يذهب من حالة دنيا إلى حالة أعلى، يتم عادة امتصاص فوتون. والوثبات الكمية تظهر أيضاص على جسيمات أخرى غير الإلكترونات. (انظر أيضاً مستويات الطاقة).

ميكانيكا الكم: Quantum mechanics

نظرية تفسر سلوك الجسيمات تحت الذرية. وهي واحدة من أنجح النظريات العلمية التي عرفت على الإطلاق، وهي الأساس لكل الفيزياء الحديثة.

الكواركات: Quarks

هي ما يكوّن نظرياً كل الهادرونات بما فيها البروتونات والنيوترونات والميزونات.

وفيما يعتقد فإن الكواركات يمكن أن تكون ثلاثة أنواع مختلفة من الشحنة اللونية، تسمى الأحمر والأخضر والأزرق (ولكن هذه الشحنات لا علاقة لها بالألوان الفعلية). والكواركات تأتي أيضاً في ست نكهات: العليا والسفلى والغريب والسحر والقاع والقمة. «والنكهة» هنا مصطلح فني يعني «نوع» أو «صنف». وعندما نقول إن الكواركات لها ست نكهات، فهذا يعني فحسب أن هناك ستة أنواع مختلفة من الكواركات.

الكوازارات: Quasars

القلوب المضيئة للمجرات صغيرة السن. ويعتقد أن سطوع الكوازارات يمكن إرجاعه إلى الإشعاع الذي تبثه المادة الساخنة التي تهوي للداخل من ثقوب سوداء ذات كتلة فائقة هي مركز الكوازارات. (انظر أيضاً الثقب الأسود).

الإزاحة الحمراء: Redshift

عندما يتحرك أحد الأجرام بعيداً عن المراقب، فإن موجات الضوء التي يبثها تزداد طولاً. ولما كانت موجات الضوء الأحمر أطول من الموجات التي في أي جزء آخر من الطيف المرئي، فإنه تحدث هكذا إزاحة تجاه الأحمر.

إعادة التطبيع: Renormalization

كثيراً ما تنشأ مقادير لا متناهية مثيرة للمشاكل في نظريات مجال الكم مثل الإلكتروديناميكا الكمية وديناميكا اللون الكمية. وإعادة التطبيع إجراء رياضي للتخلص من هذه المقادير. وإذا كانت إحدى النظريات مما لا يمكن إعادة تطبيعه، فإنها يجب أن تنبذ على أنها غير متماسكة. وعدم وجود إجراء لإعادة التطبيع بما يفي، هو عقبة كأداء في سبيل نظرية كمية للجاذبية.

المادة الظل: Shadow matter

شكل افتراضي لمادة لا تتفاعل مع المادة العادية إلا من خلال قوة الجاذبية. ولا يعرف ما إذا كانت المادة الظل موجودة حقاً. وإذا كانت موجودة بالفعل، فإنها لا يمكن الإحساس بها ولا رؤيتها، وإنما يمكن الكشف عنها فقط من خلال تأثيراتها الجذبوية. وكمثل، يستطيع الواحد منا أن يسير من خلال جبل من المادة الظل ولا يحس بذلك، أو أن يقف في قاع محيط من المادة الظل ولا يجد أي صعوبة في التنفس طبيعياً.

المفردة: Singularity

إذا انضغط قدر من المادة بالجاذبية إلى ما هو رياضياً نقطة، فهذه النقطة من الكثافة اللامتناهية هي ما تكونه المفردة. وأغلب الاحتمال أن المفردات لا توجد في الطبيعة. ومن المحتمل أن الظواهر الكمية سوف تؤكد أن كثافة المادة لا تصبح قط في الواقع كثافة لامتناهية.

المكان ـ الزمان (الزمكان): Spacetime

كلمة يستخدمها الفيزيائيون لتوصيف أبعاد المكان الثلاثة وبعد الزمان. وتقبُّل نظرية آينشتين أدى إلى كثرة استخدام هذه الكلمة لأن فيزياء آينشتين يتفاعل فيها المكان والزمان بطريقة لا تحدث في ميكانيكا نيوتن. ومع ذلك، سيكون من الصحيح تماماً أن نتكلم عن المكان ـ الزمان في سياق نظريات نيوتن أيضاً.

السجسيمات: (انظر السيمترية الفائقة). Sparticles

النموذج المعياري: Standard model

هو تجميع لنظريتين فرعيتين، النظرية الكهروضعيفة ونظرية ديناميكا اللون الكمية. وهو حالياً النظرية المعيارية للتفاعلات تحت الذرية. وهو بما هو عليه، نموذج ناجح أكمل النجاح، ولم يُعثر أبداً على أي دليل تجريبي يتناقض معه. ومع ذلك، فإن الكثيرين من الفيزيائيين مستاؤون أعمق الاستياء من النموذج المعياري، فهم يشعرون بأنه لا يفسر الأمور تفسيراً وافياً. وكثير من النظريات التي نوقشت في هذا الكتاب تمثل محاولات لتجاوز هذا النموذج. (انظر أيضاً ديناميكا اللون الكمية، والقوة الكهروضعيفة).

الجسيم الغريب: Strange particle

منذ عشرات السنين كان يشار إلى الجسيم الذي يتطلب اضمحلاله فترات زمنية طويلة غير متوقعة على أنه جسيم «غريب». ومنذ ذلك الوقت، اكتشف الفيزيائيون أن «الغرابة» مقدار يمكن توصيفه بطريقة رياضية، وفقدت الكلمة ارتباطها بالمعنى اللغوي المعتاد. والغريب هو أيضاً واحد من النكهات الست للكواركات. والكوارك الغريب هو ببساطة أحد مكونات جسيمات معينة تنحو إلى أن يكون لها مدى حياة طويل.

المعجل فائق التوصيل والاصطدام: Superconducting supercollider (SSC)

معجل جسيمات هائل جديد سيتم بناؤه في التسعينات من القرن. وسيصل قطره إلى ٥٣ ميلاً.

الجاذبية الفائقة: Supergravity

اسم يطلق على عدد من النظريات التي حاولت تفسير كل القوى الأربع في إطار واحد. على أنه ما من نظرية من نظريات الجاذبية الفائقة التي اكتشفها الفيزيائيون قد ثبت نجاحها بالكامل، ويعتبر العلماء الآن أن إنشاء نظريات الأوتار الفائقة هو التناول الذي فيه ما يعد بأكثر. (انظر أيضاً نظريات الأوتار الفائقة).

نظريات الأوتار الفائقة: Superstring theories

يعتقد الآن الكثيرون من الفيزيائيين أن كل الجسيمات المعروفة قد تكون مكونة من حلقات متذبذبة في مكان - زمان من عشرة أبعاد، وتعرف باسم الأوتار الفائقة. ويظن بعضهم أن المكان والزمان نفسيهما قد يكونان مصنوعين من مكونات من أوتار فائقة على نحو أو آخر. ولو ثبت قط نجاح هذه الأفكار، ستكون قد حدثت ثورة في مفهوم العلماء عن طبيعة الواقع. على أنه كثيراً ما يشير نقاد نظريات الأوتار الفائقة إلى أن هذه النظريات لم ينتج عنها تنبؤ واحد كمي يمكن اختباره في المعمل. ويذهب بعض النقاد لما هو أبعد فيقارنون اتباع نظرية الأوتار الفائقة بممارسات اللاهوت في القرون الوسطى. (انظر أيضاً نظرية كل شيء).

السمترية الفائقة (سوسي): Supersymmetry (Susy)

هي فكرة أنه قد لا يكون هناك نوعان مختلفان من الجسيمات (فرميونات وبوزونات)، وإنما هناك بدلاً من ذلك نوع واحد فقط. وإذا ثبتت في النهاية صحة هذه الفكرة، سيصبح عدد الجسيمات الموجودة في الطبيعة أكثر، وليس أقل. وبالتحديد، فإن نظريات السمترية الفائقة تتنبأ بوجود نوع جديد بأسره من الجسيمات يعرف بالسجسيمات Sparticles. وحتى الآن، ليس من دليل تجريبي يدل على أن السجسيمات موجودة حقاً.

التاكيون: Tachyon

جسيم افتراضي ينتقل بسرعات أكبر من الضوء. ووجود هذه الجسيمات لن يكون متناقضاً مع النسبية مادامت لا تبطئ قط إلى السرعات الأقل من الضوء. وعلى كل فإنه لا يوجد دليل على أن التاكيونات موجودة حقاً، والنظريات التي تتنبأ

بوجودها الآن ينظر إليها عموماً في شك.

التاوون: Tauon

جسيم يشبه الإلكترون والميون فيما عدا أنه أثقل كثيراً. والتاوون له كتلة هي تقريباً أكبر ٣٥٠٠ مرة من كتلة الإلكترون، وهو أثقل كل اللبتونات. (انظر أيضاً اللبتون).

نظرية كل شيء: Theory of everything

النظرية التي يمكن أن تُستقى منها كل القوانين الأخرى للفيزياء. ويأمل بعض الفيزيائيين في أن نظرية أو أخرى من نظريات الأوتار الفائقة سيثبت في النهاية أنها نظرية كل شيء هذه. وفيما يعرض، فإنه ينبغي ملاحظة أن اكتشاف نظرية كل شيء لن يعني أن علم الفيزياء قد انتهى. فسوف يبقى بعدها عمل كثير يتطلب الإنجاز. وأن نحوز نظرية لكل شيء يشبه ببساطة أن نعرف قواعد لعبة الشطرنج، واستنتاج كل تضميناتها سيكون مماثلاً لأن يصبح الواحد أستاذاً كبيراً في اللعبة. والفيزيائيون ليسوا كلهم من المؤمنين بوجود نظرية لكل شيء، فالكثيرون منهم يشعرون بأنه لن يكون من الممكن أبداً تجميع كل المعرفة في مجموعة محدودة من المعادلات الرياضية.

سيناريو من أعلى لأسفل: Top - down scenario

نظرية عن تكوين المجرات تفترض أن تركزات الكتلة تتكون أولاً في أحجام من تجمعات وتجمعات فائقة. أما المجرات المفردة فتتخلق فحسب عندما تبدأ هذه التجمعات في التكسر لقطع منفصلة.

الجسيمات التقديرية: Virtual particles

ميكانيكا الكم تسمح بأن «تندفع» الجسيمات إلى الوجود حتى عندما تكون الطاقة المطلوبة لتخليقها غير متاحة. على أن مديونية الطاقة التي تتخلق هكذا يجب أن يُرد ثمنها، وسرعان ما تختفي هذه الجسيمات التقديرية. ومع هذا، فإن الجسيمات التقديرية لها تأثيرات فيزيائية حقيقية. فهي مسؤولة عن كل القوى التي نلاحظها في الطبيعة.

الجسيمات الثقيلة ضعيفة التفاعل (الويمبات): Weakly interacting massive particles (WIMPs)

المادة المظلمة الباردة هي فيما يفترض مكونة من الويمبات. ومكونات هذه المادة يجب أن تكون ضعيفة التفاعل لأن الجسيمات شديدة التفاعل ستكون مما قد تم الآن ملاحظته في المعمل (المادة المظلمة الباردة يجب أن تكون مصنوعة من جسيمات لم تتم ملاحظتها قط). وبالمثل، فإن الويمبات يجب أن تكون ثقيلة لأن الجسيمات التي لا تزن وزناً كبيراً جداً ستنتقل بسرعات عالية، وستصبح هكذا شكلاً من المادة المظلمة الساخنة (انظر أيضاً المادة المظلمة).

الثقب الدودي: **Wormhole**

هو ممر طويل يوصل بين منطقتين من المكان منفصلتين بمسافة واسعة. ولو كان ثمة أكوان أخرى موجودة، فإنه يمكن أيضاً تصور أن كوننا يمكن أن يتصل بها بواسطة ثقوب دودية. والثقوب الدودية هي مجرد مفهوم نظري. وهي لم يتم رصدها في الواقع. والحقيقة أن أبعادها قد تكون صغيرة جداً بحيث لن يمكن رصدها.

مراجع مختارة

Barrow, John D. and Frank J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press, 1988.

Carrigan, Richard A., Jr and W. Peter Trower, eds. *Particle Physics in the Cosmos*. New York: Freeman, 1989.

Cohen, Nathan. *Gravity's Lens*. New York: Wiley, 1988.

Cooper, Necia and Geoffrey B. West, eds. *Particle Physics: A Los Alamos Primer*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Davies, P. C. W. and J. Brown, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Davies, Paul, ed. *The New Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

Feynman, Richard P. *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton: Princeton University Press, 1983.

Gribbin, John. *In Search of the Big Bang*. New York: Bantam, 1986.

----------. *The Omega Point*. New York: Bantam, 1988.

Hawking, Stephen. *A Brief History of Time*. New York: Bantam, 1988.

Kaku, Dr. Michio and Jennifer Trainer. *Beyond Einstein*. New York: Simon & Schuster, 1983.

----------. *Time's Arrows*. New York: Simon & Schuster, 1985.

Morris, Richard. *Dismantling the Universe*. New York: Simon & Schuster, 1985.

----------. *Time's Arrows*. New York: Simon & Schuster, 1985.

Pagels, Heinz. *Perfect Symmetry*. New York: Simon & Schuster, 1985.

Peat, F. David. *Superstrings and the Search for The Theory of Everything*. Chicago: Contemporary Books, 1988.

Riordan, Michael. *The Hunting of the Quark*. New York: Simon & Schuster, 1987.

Silk, Joseph. *The Big Bang*. New York: Freeman, 1989.

Trefil, James. *The Dark Side of the Universe*. New York: Scribner, 1988.

----------. *The Moment of Creation*. New York: Scribner, 1983.

Weinberg, Steven. *The First Three Minutes*. New York: Bantam, 1984.